



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

# Решения задач размещены на сайте [zadachi24.ru](http://zadachi24.ru)

Т. П. Бебенина

**ЗАДАНИЯ  
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ГИДРАВЛИКЕ:  
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВА-  
НИЯ ГОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Екатеринбург

2019

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕМА 1. Гидростатическое давление в точке жидкости.....	6
2. ТЕМА 2. Сила давления жидкости на плоские поверхности.....	20
3. ТЕМА 3. Сила давления покоящейся жидкости на криволиней- ные поверхности.....	34
4. ТЕМА 4. Расчет простых коротких трубопроводов.....	49
5. ТЕМА 5. Основы гидравлического расчета сложных трубопроводных систем.....	66

## Принятые обозначения и единицы физических величин

### *Геометрические величины*

$r$ , м, мм – радиусы сечений, стенок, отводов; расстояния точек в потоках от условного центра;

$R$ , м – гидравлический радиус;

$d$ , м, мм – диаметры;

$b, B, l, L$  м, мм – ширина, длина, геометрический размер;

$h, H$ , м – глубина, высота;

$h_C$ , м – глубина погружения центра тяжести ( $C$ ) стенки;

$h_D$ , м – глубина погружения центра давления ( $D$ );

$s$ , м, мм – расстояние, ход поршня;

$A$ , м<sup>2</sup> – площадь фигуры, стенки, площадь поршня;

$W$ , м<sup>3</sup> – объем жидкости, газа;

$\omega$ , м<sup>2</sup> – площадь (живого) сечения потока;

$\chi$ , м – смоченный периметр.

### *Механические величины*

$m$ , кг – масса жидкости, газа;

$\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – плотность (масса одной кубической единицы объема) жидкости, газа;;

$\gamma$ , Н/м<sup>3</sup> – удельный (объемный) вес жидкости, газа;

$F, P, N, G$ , Н – сила;

$R$ , Н – сила давления;

$p$ , Па – напряжение, давление жидкости, газа;

$M$ , Нм (Дж) – момент силы;

$N$ , Дж/с, Вт – мощность;

$E$ , Дж – энергия;

$e$ , м – удельная энергия.

### *Кинематические величины*

$g$ , м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$u, v$ , м/с – действительная и средняя скорости;

$a$ , м/с<sup>2</sup> – ускорение;

$t$ , с – время.

### ***Гидродинамические величины***

$Q$ , м<sup>3</sup>/с – объемный расход жидкости;

$H$ , м – напор;

$h_w$ , м – потери напора жидкости, газа;

$h_r$ , м – местные потери напора;

$h_l$ , м – потери напора по длине (линейные);

$T$ , °C, °K – температура

$\mu$ , Па·с – динамический коэффициент вязкости (динамическая вязкость);

$\nu$ , м<sup>2</sup>/с – кинематический коэффициент вязкости (кинематическая вязкость);

$\zeta$  – коэффициент местного сопротивления;

$\lambda$  – коэффициент (Дарси) гидравлического трения

$\mu, m$  – коэффициент расхода;

$\varphi$  – коэффициент скорости;

$\eta$  – КПД машины;

$A$ , с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> – удельное сопротивление трубопровода;

$K$ , м<sup>3</sup>/с – модуль расхода (расходная характеристика);

$Re, Fr, Eu$  – числа Рейнольдса, Фруда, Эйлера.

Таблица соотношений единиц давления

Единица	Па (Н/м <sup>2</sup> )	ат (кгс/см <sup>2</sup> )	кгс/м <sup>2</sup>	ммвод.ст.	м вод.ст.	мм рт.ст	бар
1 Па	1	$10,2 \cdot 10^{-6}$	$0,10^2$	0,102	$102 \cdot 10^{-6}$	$750 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5}$
1 ат (кгс/см <sup>2</sup> )	$9,81 \cdot 10^4$	1	$10^4$	$10^4$	10	735,6	0,981
1 кгс/м <sup>2</sup>	9,81	$10^4$	1	1	$10^{-3}$	$73,5 \cdot 10^{-3}$	$98,1 \cdot 10^{-6}$
1 мм вод.ст.	9,81	$10^{-4}$	1	1	$10^{-3}$	$73,5 \cdot 10^{-3}$	$98,1 \cdot 10^{-6}$
1 м вод.ст.	$9,81 \cdot 10^3$	0,1	$10^3$	$10^3$	1	73.56	$98,1 \cdot 10^{-3}$
1 мм рт.ст	133,3	$1,36 \cdot 10^{-3}$	13.6	13,6	$13,6 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-3}$
1 бар	$10^5$	1,02	$10,2 \cdot 10^3$	$10,2 \cdot 10^3$	10,2	750	1

Таблица с дополнительными (английскими) единицами измерения давления

Единицы	атм	бар	Па	мм вод.ст	мм рт.ст	psi	ат (кгс/см <sup>2</sup> )	inch Hg
атм	1	1,013	101325	10332	760	14,696	1,0333	29,92
бар	$9,87 \cdot 10^{-1}$	1	$10^5$	$1,02 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^2$	14,51	1,0198	29,53
Па	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$	1	0,102	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$2,95 \cdot 10^{-4}$
мм вод.ст.	$9,68 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	9,81	1	$7,36 \cdot 10^{-2}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4}$	$2,896 \cdot 10^{-3}$
мм рт.ст.	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,33^{-3}$	$1,33 \cdot 10^2$	13,6	1	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$3,94 \cdot 10^{-2}$
psi	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^3$	$7,03 \cdot 10^2$	51,7	1	$7,03 \cdot 10^{-2}$	2,04
ат (кгс/см <sup>2</sup> )	$9,68 \cdot 10^{-1}$	$9,8 \cdot 10^{-1}$	$9,8 \cdot 10^4$	$10^4$	$7,36 \cdot 10^2$	14,22	1	28,96
inch Hg	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$3,39 \cdot 10^{-2}$	$3,386 \cdot 10^3$	$3,45 \cdot 10^2$	25,4	0,49	$3,45 \cdot 10^{-2}$	1

## **ТЕМА 1**

### **Гидростатическое давление в точке жидкости**

## Методические указания по решению задач Тема 1

### Гидростатическое давление в точке жидкости

1. При решении используются все законы гидростатики и основное уравнение гидростатики:

$$p = p_0 + \rho gh.$$

2. Учитывается определение манометрического давления и вакуума

3. Проводится **плоскость уровня**, во всех точках которой давление одинаково. Проводится так, чтобы она прошла через одну жидкость, **не прерываемую** другой. Относительно нее записывается **уравнение равновесия – равенства давления**.

4. При необходимости, если в системе не одна жидкость, используется несколько плоскостей уровня. При переходе от одной плоскости к другой учитывается, что в точках, расположенных **ниже** плоскости **давление** увеличивается с глубиной на величину весового давления ( $+\rho gh$ ), **выше** – уменьшается ( $-\rho gh$ ).

5. **Абсолютное давление** в точках установки пружинных приборов:  
манометра

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{а}} + p_{\text{ман}}$$

вакуумметра

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{а}} - p_{\text{вак}}$$

6. В расчетах применяются единицы системы СИ: Па, м, с; поэтому необходимо выполнять перевод производных единиц измерения всех параметров заданных в других системах.

7. Если при определении давления абсолютное подставляется в виде

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{а}} + p_x,$$

то  $(+p_x)$  соответствует манометрическому давлению,  
 $(-p_x)$  – вакуумметрическому.

### Задача 1.1.

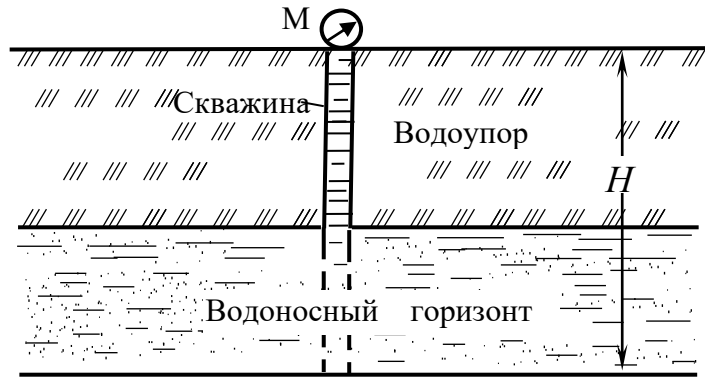


Рис.1.1

При бурении скважины вскрыт водоносный пласт с напорными водами. Устье скважины оборудовано манометром, показание которого составляет  $p_{\text{ман}}=0,4$  ат.

Определить на какую высоту будет фонтанировать вода из скважины и найти абсолютное гидростатическое давление на забое скважины глубиной  $H=200$  м, если атмосферное давление равно  $p_a=740$  мм рт. ст.

### Задача 1.2.

Определить показание манометра  $p_{\text{ман}}$ , установленного по центру трубопровода с маслом, если показание U-образного ртутного манометра  $h_{\text{рт}}=0,1$  м, высота столба воды над ртутью  $h = 60$  мм (рис. 1.2). Уровень ртути в левом колене находится на высоте  $Z = 1,2$  м от оси трубы.

Принять плотности жидкостей: масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

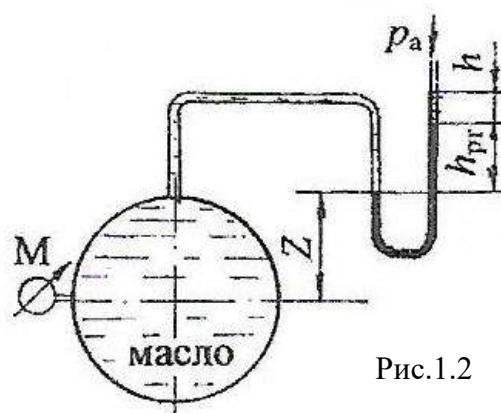


Рис.1.2



### Задача 1.3.

В цилиндрический бак (рис.1.3) диаметром  $D=2$  м до уровня  $H=2,4$  м налиты вода и бензин. Уровень воды в пьезометре ниже уровня бензина в баке, разность уровней равна  $h=420$  мм.

Определить вес находящихся в баке жидкостей, если плотность бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 700$  кг/м<sup>3</sup>, воды  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>.

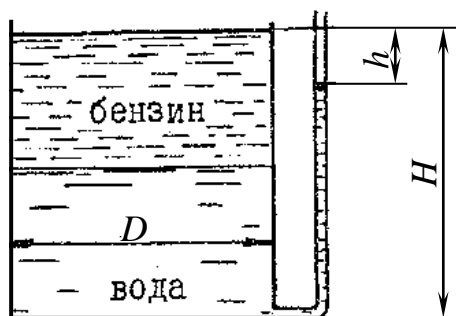


Рис.1.3

### Задача 1.4.

Дифференциальный манометр, заполненный ртутью, предназначен для измерения разности давлений на уровне осей трубопроводов  $A$  ( $p_A$ ) и  $B$  ( $p_B$ ), транспортирующих воду и бензин. Оси трубопроводов находятся на одном горизонте (рис. 1.4).

Определить разность давлений в кПа по оси трубопроводов при значениях  $h_1 = 400$  мм;  $h_2 = 500$  мм. Принять плотности жидкостей: воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; бензина  $\rho_{\text{бен}} = 720$  кг/м<sup>3</sup>.

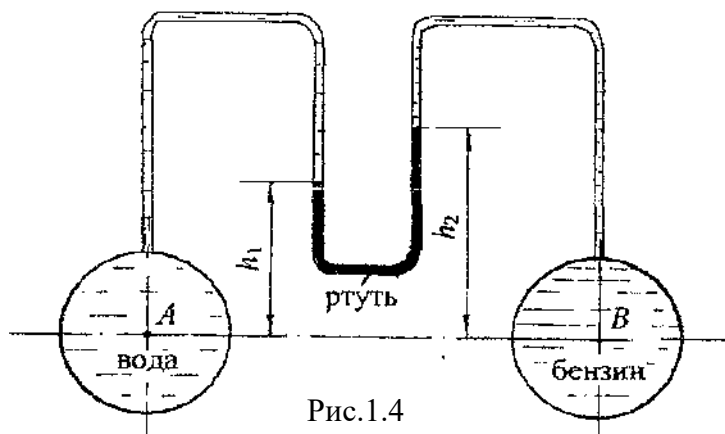


Рис.1.4

### Задача 1.5.

С помощью дифференциального ртутного манометра контролируется разность давлений на уровне оси трубопровода  $A$  ( $p_A$ ) и оси трубопровода  $B$  ( $p_B$ ), заполненных водой (рис. 1.5).

Определить показание манометра ( $h_{рт}$ ), если разность давлений  $p_B - p_A = 19,6$  кПа. Ось трубопровода  $B$  выше оси трубопровода  $A$  на величину  $h = 400$  мм. Принять плотности жидкостей: воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

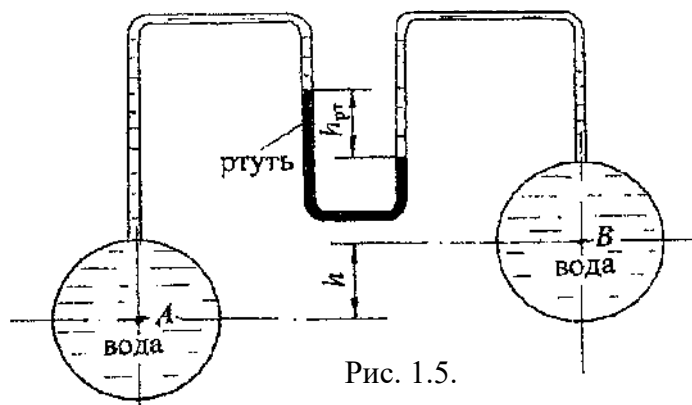
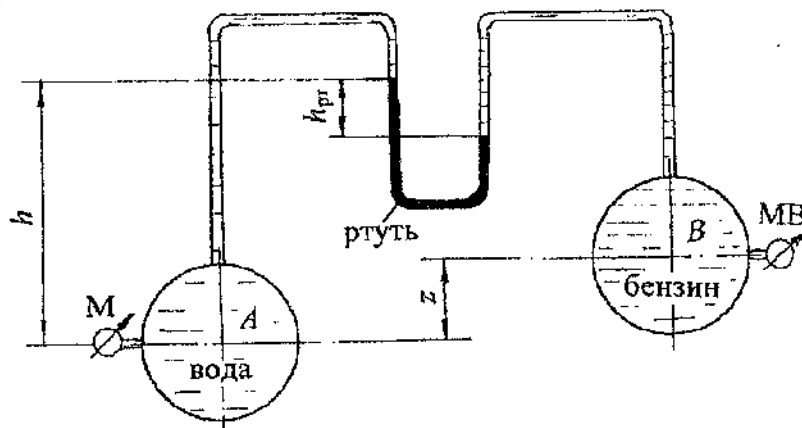


Рис. 1.5.

### Задача 1.6.

К двум трубопроводам  $A$  и  $B$ , заполненным водой и бензином, подключён U-образный ртутный манометр, показание которого  $h_{рт} = 150$  мм. На уровне оси трубопровода  $A$  установлен манометр, показание которого  $p_{ман} = 0,12$  ат. Ось трубы  $B$  находится выше оси трубы  $A$  на расстоянии  $z = 300$  мм (рис. 1.6).

Определить, какое давление, манометрическое или вакуумметрическое, показывает мановакуумметр (МВ), установленный на уровне оси трубы  $B$ , если высота уровня ртути в левом колене манометра относительно оси трубы  $A$  -  $h = 800$  мм. Принять плотности жидкостей: воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; бензина  $\rho_{бенз} = 720$  кг/м<sup>3</sup>.



### Задача 1.7.

Две трубы *A* и *B*, заполненные водой, соединены *U*-образным ртутным манометром, показание которого  $h_{рт} = 200$  мм. Ось трубы *A* выше оси трубы *B* на величину  $Z = 0,4$  м (см. рис. 1.7)

Определить показание мановакуумметра ( $p_{мв}$ ), установленного на уровне оси трубы *B*, если показание манометра на уровне оси трубы *A*  $p_{ман} = 0,12$  ат, высота уровня ртути от оси трубы *B*  $h = 0,9$  м. Принять плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

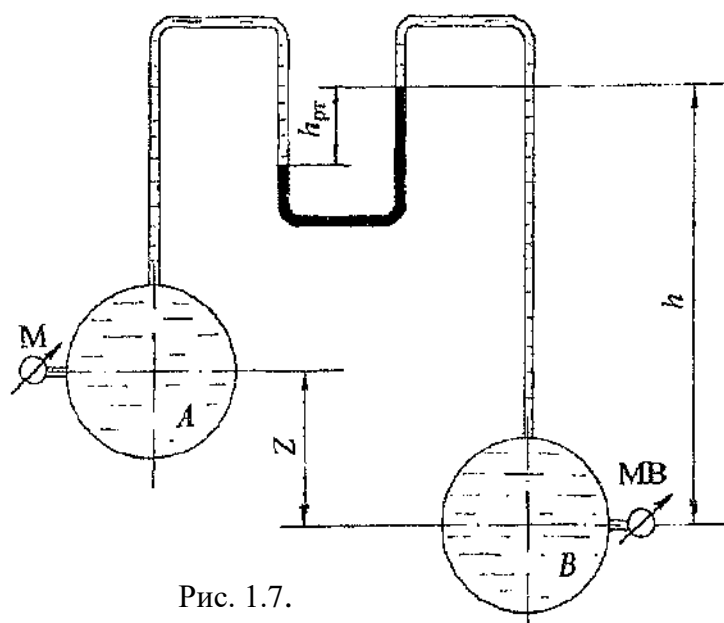


Рис. 1.7.

### Задача 1.8.

Цилиндрический резервуар *A* соединён трубопроводом с водонапорным баком *B* (рис. 1.8). Для контроля уровня воды в баке и действующего напора установлен пьезометр на высоте  $H = 1,6$  м от подводящего трубопровода.

1. Определить показание манометра *M* ( $p_{ман}$  в ат), установленного на трубопроводе, если пьезометрическая высота  $h_p = 1,2$  м.

2. Определить показание *U*-образного ртутного манометра ( $h_{рт}$ ), установленного на высоте  $h = 1,0$  м от оси трубы. Принять то же показание пьезометра  $h_p = 1,2$  м, понижение уровня ртути в левом колене  $a = 100$  мм, плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

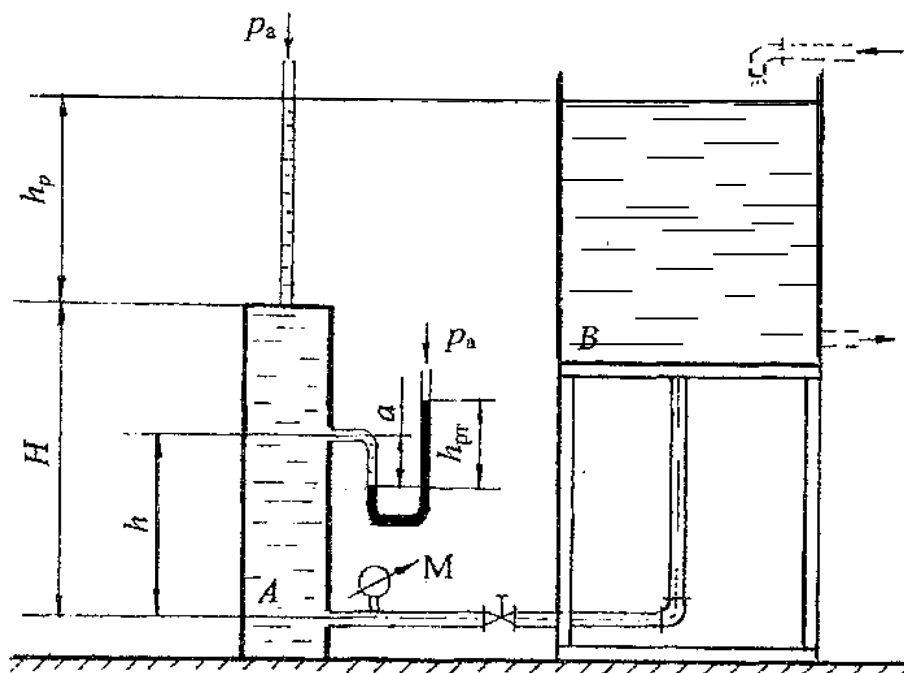


Рис. 1.8.

### Задача 1.9.

Для определения давления в воздуховоде установлена  $U$ -образная трубка, заполненная водой. Для большей точности замеров в случае необходимости подключается чашечный микроманометр с наклонной трубкой, заполненный спиртом (рис. 1.9).

Определить абсолютное давление ( $p_{\text{абс}}$ ) в воздуховоде по показанию  $U$ -образного манометра  $h = 120$  мм, а также рассчитать показание микроманометра ( $l$  в мм), если угол наклона трубки  $\alpha = 60^\circ$ .

Принять атмосферное давление  $p_a = 740$  мм рт. ст., плотности жидкостей: спирта  $\rho_{\text{сп}} = 790$  кг/м<sup>3</sup>; воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Плотность воздуха можно не учитывать.

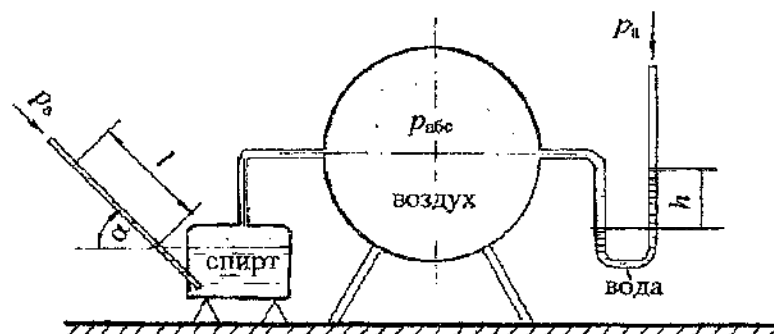


Рис. 1.9.

### Задача 1.10.

В закрытом резервуаре масло находится под давлением. Для измерения уровня масла в резервуаре справа выведен уровнемер в виде стеклянной трубки, слева на том же уровне установлен пьезометр для измерения давления в резервуаре (рис. 1.10).

1. Определить показание пьезометра ( $h_p$ ) при манометрическом (избыточном) давлении на поверхности масла  $p = p_{\text{ман}} = 0,063$  ат и показании уровнемера  $h = 0,8$  м.

2. Рассчитать абсолютное давление на поверхности масла ( $p = p_{\text{абс}}$ ) при  $h = 0,6$  м и показанию пьезометра  $h_p = 1,4$  м.

Принять атмосферное давление  $p_a = 735$  мм рт. ст., плотность масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>.

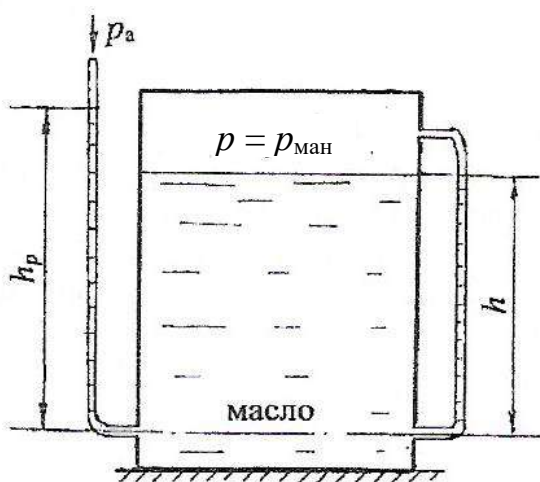


Рис. 1.10.

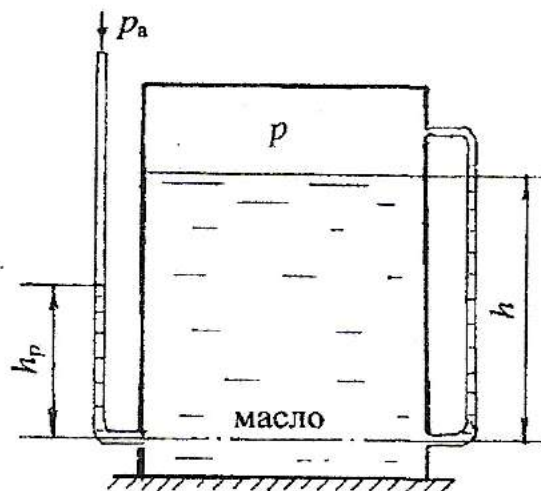


Рис. 1.11.

### Задача 1.11.

В закрытом резервуаре, заполненном маслом, на поверхности масла действует давление  $p$ . Справа в резервуаре установлена стеклянная трубка в виде уровнемера, показание которой  $h$ , слева на том же уровне выведена пьезометрическая трубка для измерения давления (рис. 1.11).

1. Определить показание пьезометра ( $h_p$ ), если на поверхности масла создан вакуум  $p = p_{\text{вак}} = 0,027$  ат, показание уровнемера  $h = 0,8$  м.

2. Рассчитать абсолютное давление на поверхности масла ( $p = p_{\text{абс}}$ ) при атмосферном давлении  $p_a = 740$  мм рт. ст., показании пьезометра  $h_p = 0,4$  м и значении  $h = 1,0$  м.

Принять плотность масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>.

### Задача 1.12.

В закрытом баке, заполненном бензином, установлено три прибора для регистрации давления: пружинный манометр, учитывающий давление на поверхности бензина,  $U$ -образный манометр, заполненный ртутью и водой, и пьезометр, выведенный у дна резервуара (рис. 1.12)

В установке предусмотрен уровнемер в виде закрытой стеклянной трубки для отсчёта значений  $H$ ,  $h$ ,  $a$ .

Определить показание манометра ( $p_{\text{ман}}$  в ат) и высоту уровня бензина в пьезометре ( $h_p$ ), если высота столба воды  $h_b = 30$  мм, показание  $U$ -образного ртутного манометра  $h_{\text{рт}} = 80$  мм. Принять значения  $h = 0,8$  м;  $a = 200$  мм;  $H = 2,0$  м; плотности жидкостей: воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

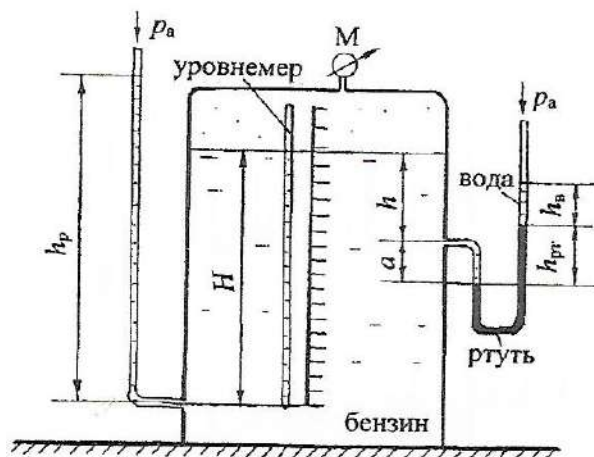


Рис. 1.12.

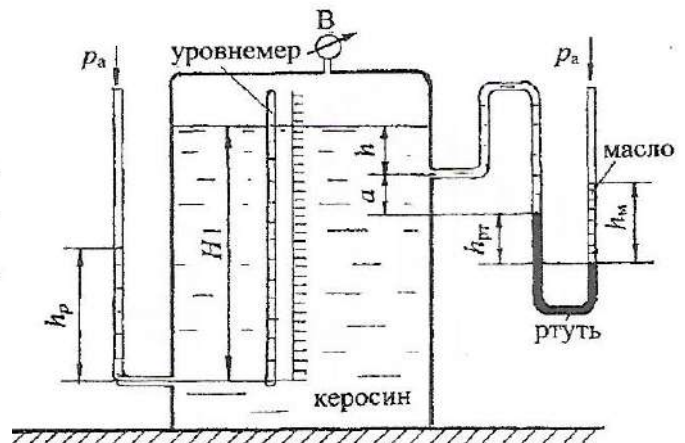


Рис. 1.13.

### Задача 1.13.

В закрытом резервуаре на поверхности керосина поддерживается вакуумметрическое давление (рис. 1.12).

Определить показание вакуумметра ( $p_{\text{вак}}$  в ат) и  $U$ -образной трубки ( $h_{\text{рт}}$ ), если глубина заполнения  $H = 2,0$  м; показание пьезометра  $h_p = 0,75$  м; глубина  $h = 500$  мм;  $a = 300$  мм; высота столба масла над ртутью  $h_m = 50$  мм. Для отсчёта величин  $H$ ,  $h$ ,  $a$  предусмотрен уровнемер.

Принять плотности жидкостей: керосина  $\rho_{\text{кер}} = 800$  кг/м<sup>3</sup>; масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.



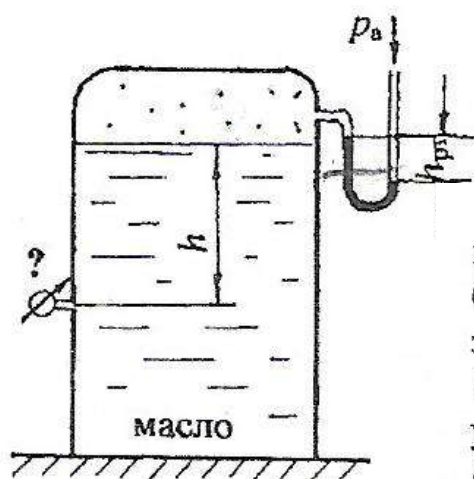


Рис. 1.14.

#### Задача 1.14.

Определить, каким прибором следует измерять давление на глубине  $h = 1,2$  м в баке, заполненном маслом, и показание этого прибора в ат, если показание  $U$ -образного ртутного манометра, установленного на поверхности масла,  $h_{рт} = 200$  мм. Принять плотность масла  $\rho_{масл} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 1.14).

#### Задача 1.15.

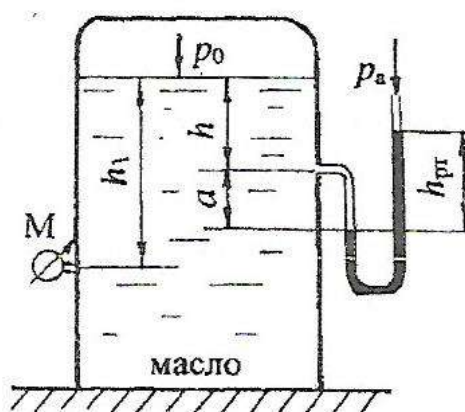


Рис. 1.15.

Определить показание  $U$ -образного ртутного манометра ( $h_{рт}$ ), подключённого к резервуару с маслом на глубине  $h = 0,8$  м, если показание пружинного манометра, установленного на глубине  $h_1 = 1,2$  м,  $p_{ман} = 0,15$  ат. Поправка ртутного манометра  $a = 0,3$  м.

Принять плотности жидкостей: масла  $\rho_{масл} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 1.15).

#### Задача 1.16.

Определить давление ( $p_0$ ) на поверхности бензина в закрытом резервуаре (рис. 1.16) и показание мановакуумметра, установленного на глубине  $h = 1,5$  м, если показание  $U$ -образного ртутного манометра  $h_{рт} = 400$  мм, глубина  $h_1 = 1,0$  м.

Принять плотности жидкостей: бензина  $\rho_{бенз} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

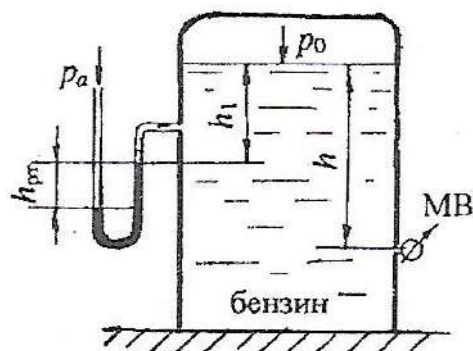


Рис. 1.16.

### Задача 1.17.

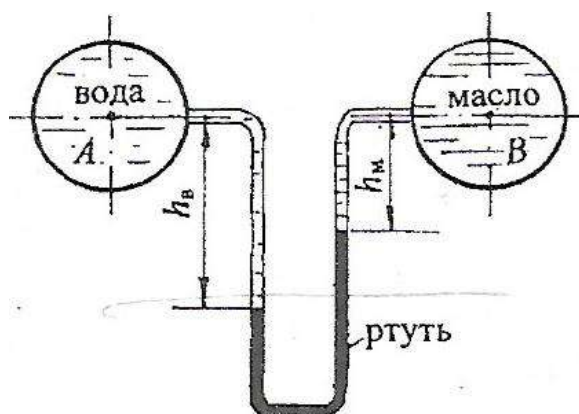


Рис. 1.17.

Определить разность давлений (в ат) в центрах трубопроводов *A* и *B*, заполненных водой и маслом, если высоты уровней воды и масла в *U*-образном ртутном дифференциальном манометре:  $h_{\text{в}} = 500$  мм;  $h_{\text{м}} = 400$  мм (рис. 1.17). Принять плотности жидкостей: масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

### Задача 1.18.

Два сосуда наполнены разнородными жидкостями - маслом и керосином. На поверхности жидкостей в сосудах действуют давления  $p_1$  и  $p_2$  (рис. 1.18).

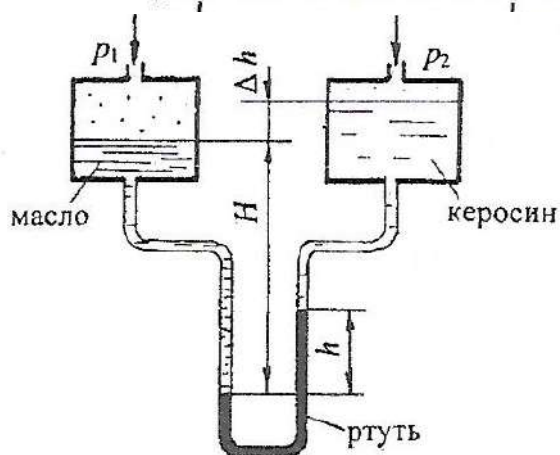


Рис. 1.18.

Найти разность этих давлений, если показание *U*-образного ртутного манометра  $h = 100$  мм, высота уровня масла  $H = 500$  мм, превышение уровня керосина над водой  $\Delta h = 40$  мм. Принять плотности жидкостей: масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; керосина  $\rho_{\text{кер}} = 800$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

### Задача 1.19.

В закрытом резервуаре *A*, заполненном маслом, давление на поверхности жидкости  $p_0$  (рис. 1.19). На глубине  $h = 0,6$  м подключён *U*-образный ртутный манометр, показание которого  $h_{\text{рт}} = 40$  мм, понижение уровня ртути в правом колене  $a = 0,2$  м. Определить давление  $p_0$  (в бар) на поверхности масла, а также высоту подъёма воды ( $h_{\text{в}}$ ) в стеклянной трубке, опущенной в открытый резервуар *B*, заполненный водой.

Принять плотности: масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.



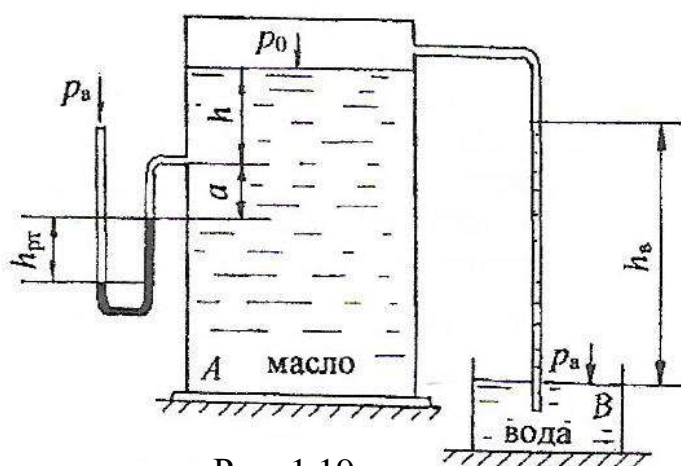


Рис. 1.19.

### Задача 1.20.

Определить, каким прибором (манометром или вакуумметром) следует измерить давление газа в баллоне по показанию ( $h$ )

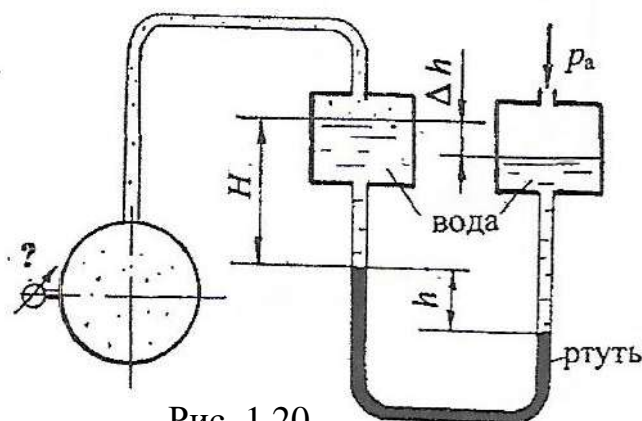


Рис. 1.20.

двухжидкостного чашечного манометра, заполненного водой и ртутью (рис. 1.20), если  $H = 0,6$  м;  $h = 100$  мм;  $\Delta h = 40$  мм.

Принять плотности жидкостей: воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Показание прибора представить в ат.

### Задача 1.21.

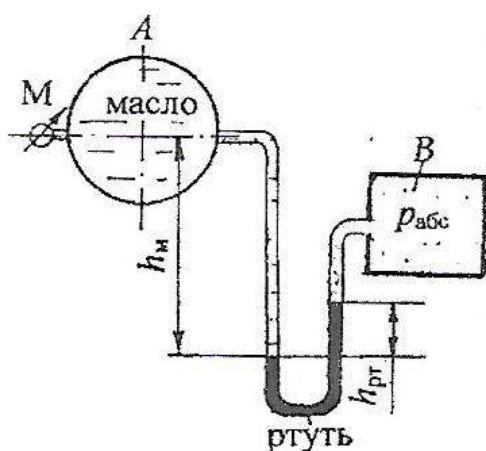


Рис. 1.21.

Определить абсолютное давление воздуха в резервуаре B (рис. 1.21), если показание манометра, установленного по центру резервуара A, заполненного маслом,  $p_{ман} = 0,12$  ат, высоты уровней масла и ртути в U-образном ртутном манометре соответственно:  $h_m = 600$  мм;  $h_{рт} = 200$  мм. Плотности: масла  $\rho_{масл} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

### Задача 1.22.

Определить давление  $p_x$  (в бар) в центре сосуда с бензином (рис. 1.22), если показание манометра, включённого на уровне центра сосуда с водой,  $p_{\text{ман}} = 0,12$  ат, высоты уровней жидкостей:  $h_1 = 400$  мм;  $h_2 = 200$  мм.

Центры резервуаров находятся на одном уровне. Принять плотности жидкостей: бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

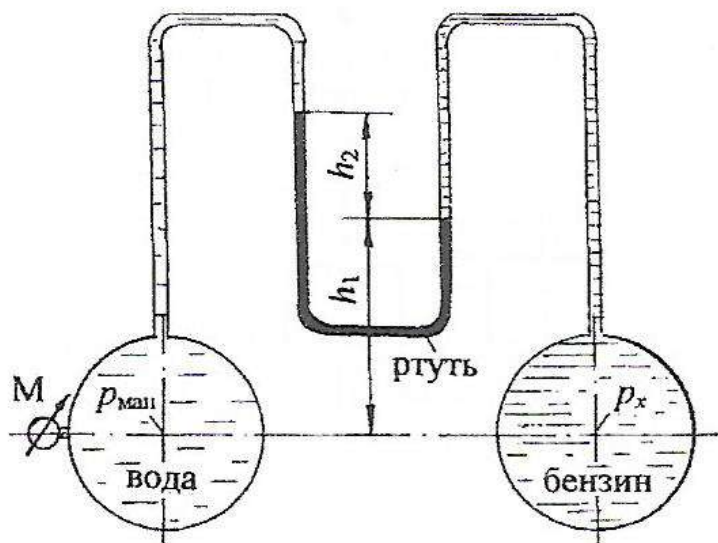


Рис. 1.22.

### Задача 1.23.

Определить абсолютное давление на поверхности бензина в закрытом резервуаре ( $p_{\text{абс}}$ ) (рис. 1.23), а также показание мановакуумметра ( $p_{\text{мв}}$  в бар), установленного на глубине  $h_1 = 1,6$  м при заданных величинах  $h = 0,5$  м,  $h_{\text{рт}} = 300$  мм, атмосферное давление  $p_a = 740$  мм рт. ст.

Принять плотности жидкостей: бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Давлением воздуха в U-образном ртутном манометре можно пренебречь.

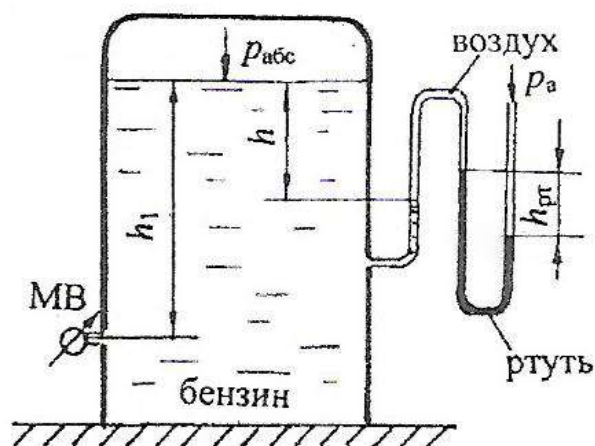


Рис. 1.23.

### Задача 1.24.

К резервуару с водой, на поверхности которой избыточное давление составляет  $p_{\text{ман}} = 0,5$  ат на глубине  $h = 1200$  мм присоединен чашечный ртутный манометр.

Определить показание манометра  $h_{\text{рт}}$ , если поправка прибора на высоту установки равна  $a = 120$  мм, а высота столбика воды над уровнем ртути составляет  $h_{\text{в}} = 180$  мм.

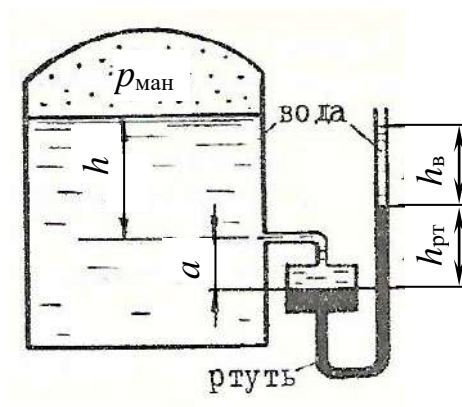


Рис. 1.24.

### Задача 1.25.

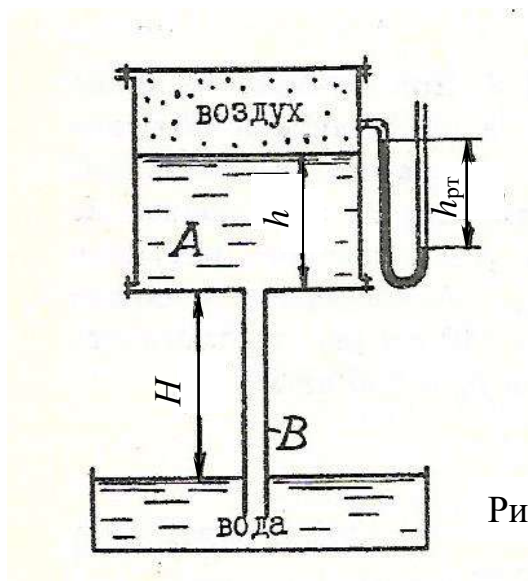


Рис. 1.25.

В сосуде  $A$  и трубе  $B$  вода находится в равновесии и показание ртутного прибора составляет  $h_{\text{рт}} = 295$  мм. Определить высоту воды в трубе  $H$ , если уровень ее в баке соответствует  $h = 1$  м.

## **ТЕМА 2**

### **Сила давления жидкости на плоские поверхности**

## Методические рекомендации по решению задач

### Тема 2

#### Сила давления покоящейся жидкости на плоские поверхности

Сила давления (равнодействующая давления) характеризуется величиной, направлением и точкой приложения.

Направлена сила **перпендикулярно** к поверхности.

**Величина** определяется по формуле

$$R = p_c A,$$

где  $p_c$  - давление на уровне центра тяжести плоской фигуры

$$p_c = p_0 + \rho g h_c;$$

$h_c$  - глубина погружения центра тяжести плоской стенки,

$A$  - площадь плоской фигуры.

Точка приложения силы давления называется **центром давления**

Глубина погружения центра давления

$$h_D = h_c + \frac{I_c \sin^2 \alpha}{h_c A}$$

$I_c$  - центральный момент инерции крышки относительно горизонтальной оси; для квадрата равен

$\alpha$  – угол наклона плоской фигуры к горизонту.

При решении задач в случае открытых резервуара сила давления определяется как равнодействующая весового давления

$$R = \rho g h_c A.$$

Для закрытых резервуаров необходимость учитывать давление  $p_0$  усложняет задачу. Здесь, в основном, возможны два случая:

1. давление на поверхности жидкости или на какой-либо глубине в полностью заполненном резервуаре задано;
2. такое давление надо определить.

В первом случае для упрощения решения можно воспользоваться понятием пьезометрической плоскости (условной сводной поверхности). Для определения ее положения необходимо вычислить пьезометрическую высоту, соответствующую заданному давлению:

$$h_p = \frac{p_0}{\rho g}.$$

Полученное значение откладывается **вверх** от поверхности жидкости или от места установки прибора при **манометрическом** давлении и **вниз**, если задано вакуумметрическое давление. От уровня этой плоскости определяется глубина всех точек в жидкости.

Во втором случае сила полного давления определяется по формуле

$$R_{\text{равн}} = p_0 A + \rho g h_c A$$

или

$$R_{\text{равн}} = R_0 + R_{\text{ж.}}$$

$R_0$  – сила внешнего давления

$R_{\text{ж}}$  — сила весового давления жидкости.

Точкой приложения  $R_o$  в соответствии с законом Паскаля является центр тяжести плоской фигуры и тогда при известных остальных параметрах величина  $p_0$  легко определяется из рассмотрения равновесия плоскости как суммы моментов сил относительно выбранного центра (или оси).



### Задача 2.1.

Определить подъемное усилие  $T$  для прямоугольного плоского щита, перекрывающего водопропускное отверстие плотины. Пролет затвора в свету  $B = 2$  м, глубина воды до щита  $h_1 = 2$  м, после щита  $h_2 = 1$  м, коэффициент трения между щитом и поверхностью пазов  $f = 0,15$ . Масса щита  $M = 450$  кг.

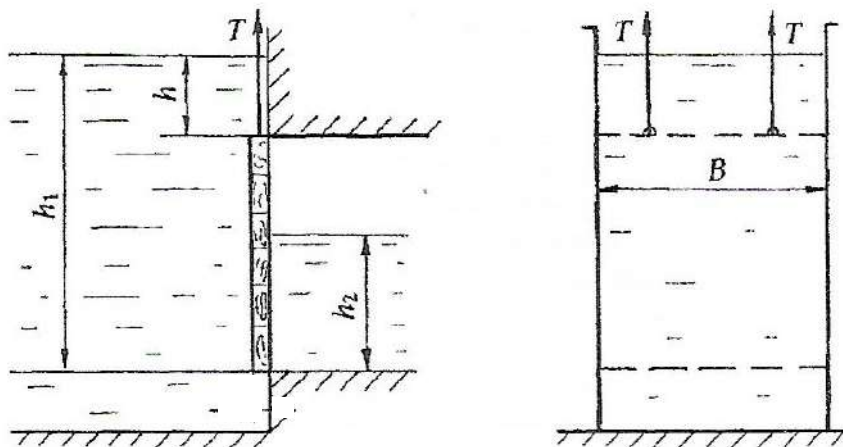


Рис. 2.1

### Задача 2.2.

В плотине сделано водопропускное отверстие в виде трубы диаметром  $d = 1,0$  м. Труба перекрывается круглым затвором, имеющим неподвижную горизонтальную ось вращения, проходящую через точку  $A$  (рис. 2.2).

Определить начальную силу натяжения троса ( $T$ ) для открытия затвора. Трос прикреплен к нижней кромке крышки под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Глубина воды над нижней кромкой затвора  $H = 2,5$  м. Массу затвора не учитывать.

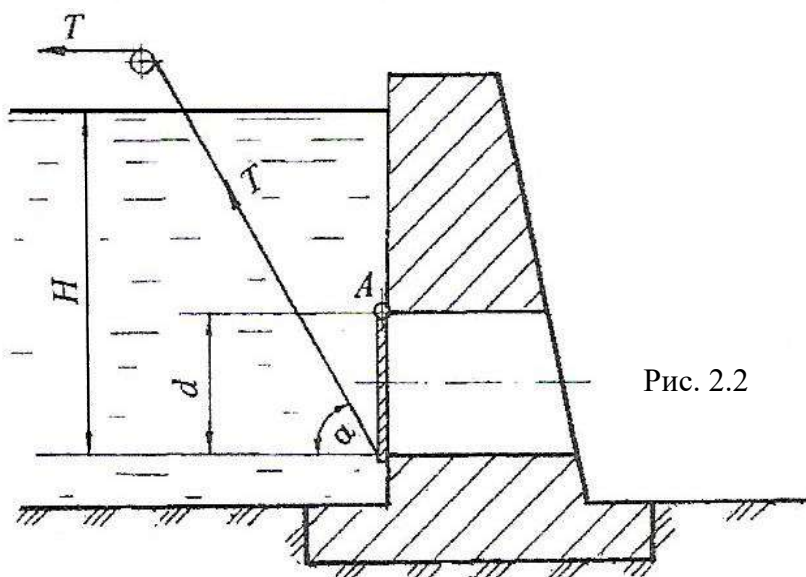


Рис. 2.2

### Задача 2.3.

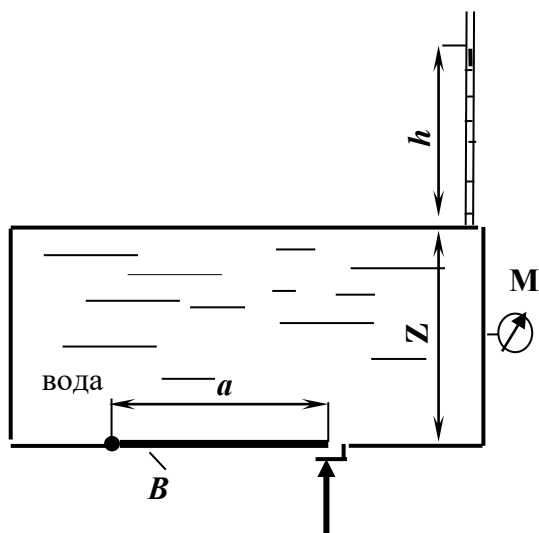


Рис. 2.3

Определить показание манометра  $M$  в центре боковой стенки резервуара с водой, а также усилие  $N$ , приложенное к запорному устройству плоской квадратной крышки  $B$  при следующих данных:  $Z = 3$  м;  $h = 2$  м;  $a = 1$  м.

### Задача 2.4.

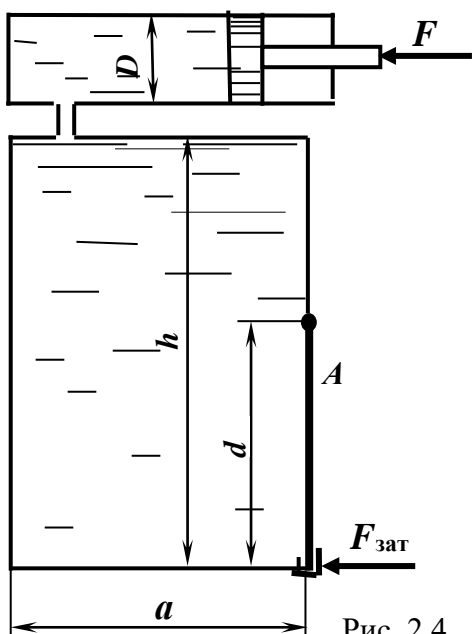


Рис. 2.4

Жидкость в емкости с размерами  $a \times a \times h$  нагревается на  $20^\circ\text{C}$ .

Определить усилие  $F$ , которое надо приложить к поршню цилиндра диаметром  $D$ , чтобы сохранился прежний объем жидкости?

А также найти усилие  $F_{\text{зат}}$ , на которое должен быть рассчитан затвор круглой крышки диаметром  $d$  при следующих данных:  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 500 \text{ мм}$ ,  $D = 260 \text{ мм}$ ,  $h = 2 \text{ м}$ ,  $a = 1,5 \text{ м}$ ; коэффициент температурного расширения  $\beta_T = 150 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ; коэффициент объемного сжатия  $\beta_p = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ .

### Задача 2.5.

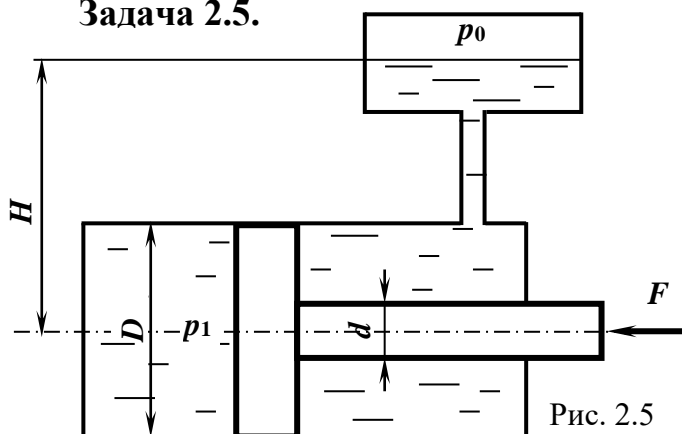


Рис. 2.5

Определить давление жидкости  $p_1$  в гидроцилиндре с диаметром поршня  $D = 160 \text{ мм}$ ;, необходимое для преодоления усилия на штоке  $F$  при следующих данных:  $F = 10 \text{ кН}$ ; диаметр штока  $d = 80 \text{ мм}$ ;  $p_0 = 20 \text{ кПа}$ ,  $H = 10 \text{ м}$ ;  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ .



### Задача 2.6.

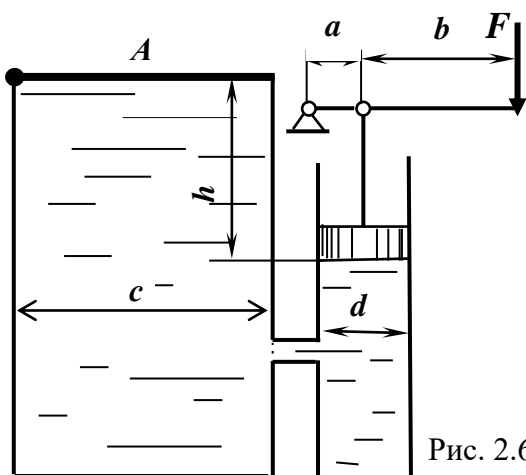


Рис. 2.6

К рычагу гидроусилителя приложена сила  $F$ . Определить силу давления жидкости с плотностью  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$  на квадратную крышку  $A$  при следующих данных:  $F = 180 \text{ Н}$ ;  $d = 40 \text{ мм}$ ;  $c = 1 \text{ м}$ ;  $h = 1 \text{ м}$ ;  $a = 10 \text{ мм}$ ;  $b = 40 \text{ мм}$ .

### Задача 2.7.

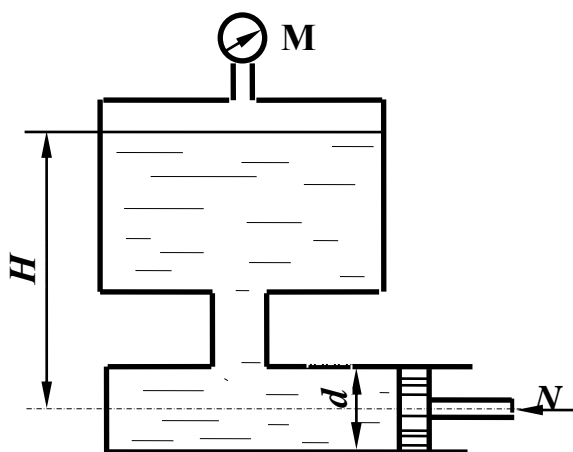


Рис. 2.7

Определить усилие  $N$ , которое надо приложить к штоку поршня для удержания его на месте, если показание манометра  $p_{\text{ман}} = 0,5 \text{ ат}$ , диаметр штока  $d = 100 \text{ мм}$ , высота уровня масла над осью штока  $H = 1,5 \text{ м}$ , плотность масла  $\rho_m = 800 \text{ кг/м}^3$ .

### Задача 2.8.

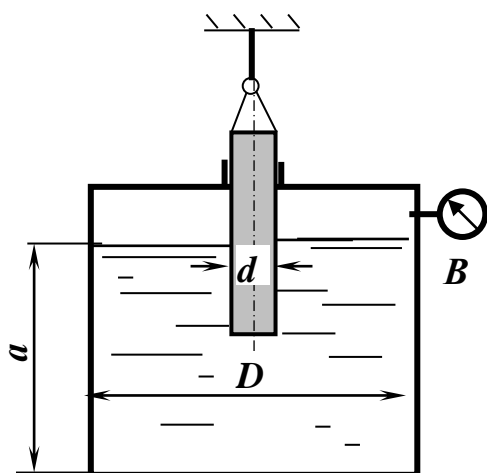


Рис. 2.8

Определить вакуум, обеспечивающий равновесие цилиндрического сосуда диаметром  $D$ , который висит без трения на плунжере диаметром  $d$ . Сила тяжести сосуда  $G = 500 \text{ Н}$ . Найти также силы давления на верхнюю и нижнюю крышку сосуда: жидкость – вода ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ),  $a = 0,3 \text{ м}$ ;  $D = 0,4 \text{ м}$ ;  $d = 0,2 \text{ м}$ .

### Задача 2.9.

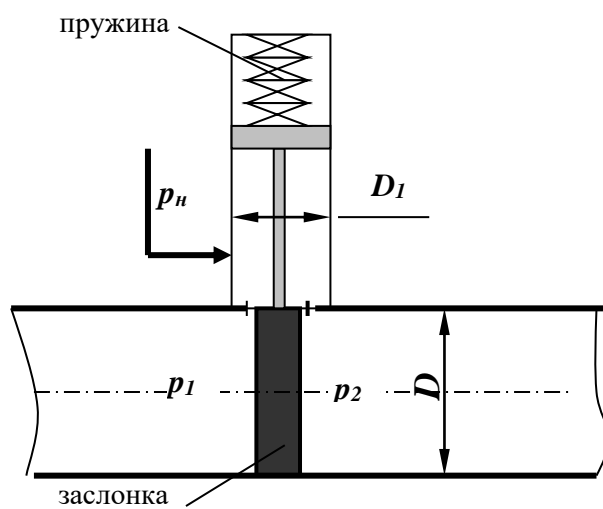


Рис. 2.9

Подъем заслонки в трубе диаметром  $D = 400$  мм осуществляется гидроцилиндром с диаметром поршня  $D_1 = 200$  мм. Масса заслонки с поршнем и штоком составляет 70 кг. Жесткость пружины равна  $k = 8$  Н/мм, коэффициент трения заслонки в направляющих  $f = 0,1$ . Определить давление нагнетания  $p_n$ , необходимое для подъема заслонки при давлениях  $p_1 = 0,2$  МПа и  $p_2 = 20$  кПа.

### Задача 2.10.

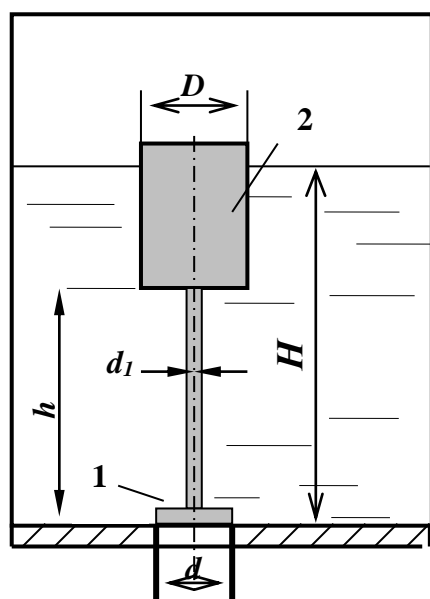


Рис. 2.10

Резервуар оборудован ограничителем уровня воды, представляющим собой клапан 1, соединенный тягой с цилиндрическим поплавком 2. Определить расстояние от дна резервуара до низа поплавка, при котором будет обеспечена глубина воды в резервуаре  $H = 5$  м, если  $D = 0,4$  м;  $d = 150$  мм;  $d_1 = 50$  мм; вес клапана с поплавком  $G = 120$  Н.

### Задача 2.11.

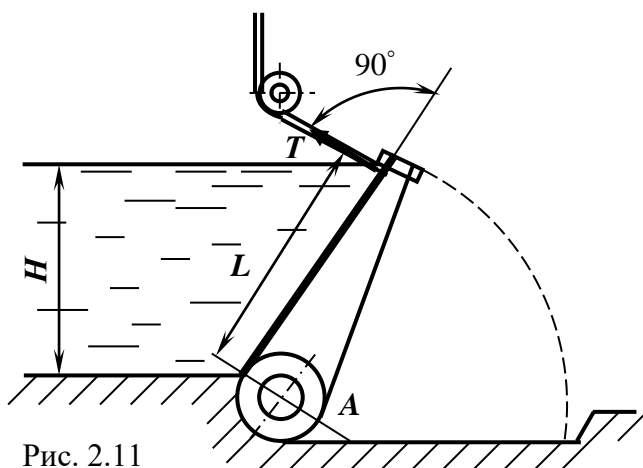


Рис. 2.11

Плоский прямоугольный затвор с размерами  $L = 2,5$  м и  $B = 10$  м создает подпор воды  $H = 2,3$  м. Затвор может вращаться относительно шарнира  $A$ . Определить силу натяжения троса  $T$ , удерживающую затвор в заданном положении. Размер  $B$  перпендикулярен плоскости чертежа.

### Задача 2.12.

Закрытый резервуар, заполненный маслом, имеет выпускную трубу диаметром  $D = 60$  мм, затвором с осью поворота, проходящей по центру (рис. 2.12). На поверхности масла действует

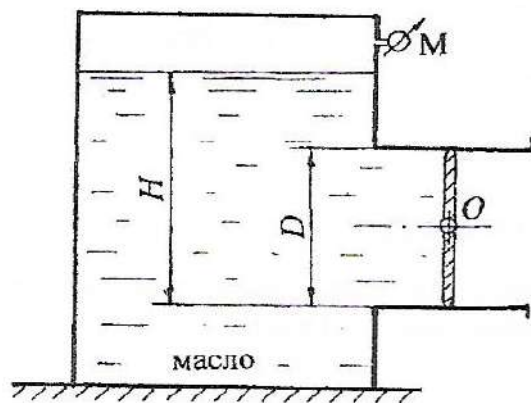


Рис. 2.12

### Задача 2.13.

Полностью заполненный водой цилиндрический сосуд диаметром  $D$  и высотой  $a$  опирается на плунжер диаметром  $d$ .

Определить показание манометра  $M$ , а также силы давления на верхнюю и нижнюю крышки при условии равновесия сосуда, если сила его тяжести  $G = 5700$  Н:  $D = 0,2$  м;  $a = 0,4$  м;  $d = 0,1$  м.

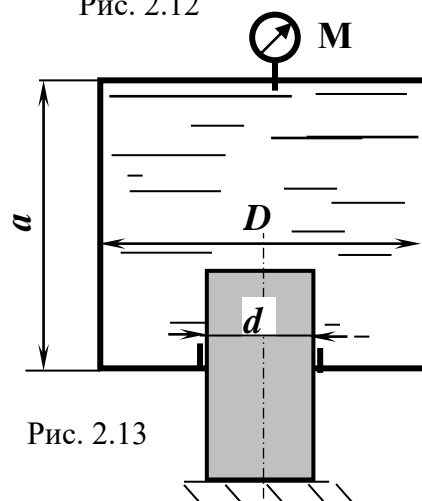


Рис. 2.13

### Задача 2.14.

Сферический резервуар, плавающий в воде, имеет люк, закрытый изнутри плоской круглой крышкой диаметром  $d=1,0$  м (рис. 2.14).

Определить горизонтальную равнодействующую давления на крышку, линию действия силы и её положение, если абсолютное давление внутри резервуара  $p_{\text{абс}} = 95$  кПа, уровень воды над осью крышки  $H = 1,2$  м.

Найти расстояние ( $e$ ) от линии действия равнодействующей до оси крышки.

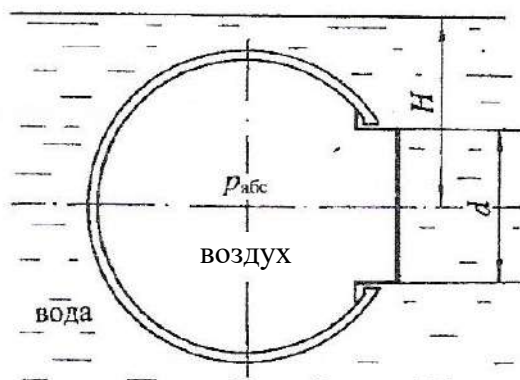


Рис. 2.14

### Задача 2.15.

Патрубок закрытого резервуара с маслом перекрывается круглой крышкой, которая может поворачиваться вокруг шарнира  $A$  (рис. 2.15).

Определить, каким должно быть показание  $U$ -образной трубки, заполненной ртутью ( $h_{\text{рт}}$ ), установленной на поверхности масла, чтобы крышка находилась в закрытом положении за счёт вакуума.

Принять: диаметр крышки  $D = 600$  мм, глубину масла до шарнира  $A$   $h = 200$  мм.

Плотности жидкостей: масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>; ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

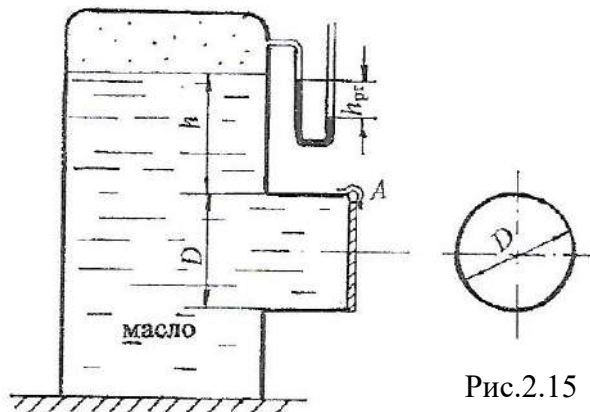


Рис.2.15

### Задача 2.16.

Выход из резервуара, заполненного водой, представляет патрубок, который закрывается круглой крышкой диаметром  $D = 600$  мм. Крышка может поворачиваться вокруг шарнира  $A$  (рис. 2.16).

Определить силу  $T$  для удержания крышки в закрытом положении, если показание ртутного манометра  $h_{рт} = 120$  мм, высота уровня масла над ртутью  $h_m = 50$  мм. Принять  $a = 500$  мм, плотность ртути  $\rho_{рт} = 13,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность масла  $\rho_{масл} = 900$  кг/м<sup>3</sup>.

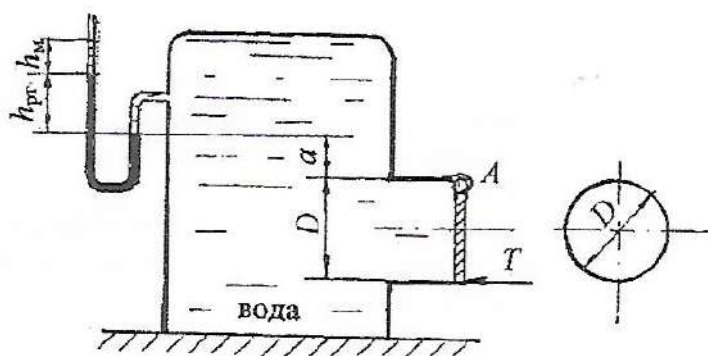


Рис. 2.16

### Задача 2.17.

Определить нормальное усилие  $F$ , приложенное к наклонной крышке  $AB$  для удержания крышки в закрытом положении. Крышка расположена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту, укреплена с помощью шарнира  $B$  и перекрывает патрубок квадратного сечения со стороной  $a = 200$  мм. Патрубок заполнен маслом плотностью  $\rho_{масл} = 900$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 2.17).

К дну патрубка присоединён пьезометр, показание которого  $H = 300$  мм. Сила  $F$  приложена по нормали к крышке на расстоянии  $b = 50$  мм от стенки патрубка. Силу тяжести крышки не учитывать.

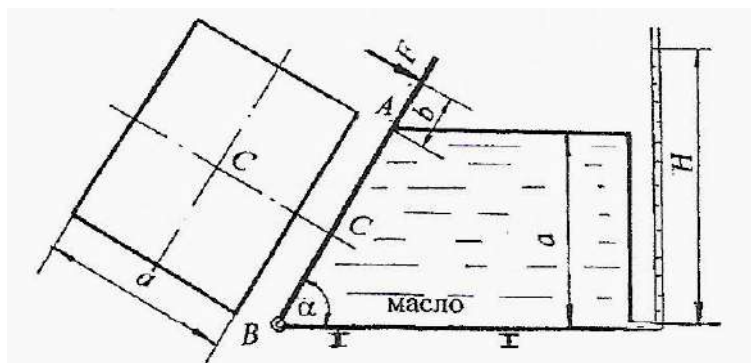


Рис. 2.17



### Задача 2.18.

В закрытом резервуаре с водой круглое донное отверстие закрывается крышкой  $D = 300$  мм, шарнирно укрепленной в точке  $A$  (рис. 2.18).

Определить наименьшую силу натяжения троса  $T$  для открытия крышки. Трос укреплен под углом  $\alpha = 60^\circ$ . Принять показание манометра на поверхности воды  $p_{\text{ман}} = 0,12$  ат; глубину заполнения резервуара  $H = 1,5$  м; массу крышки  $M = 2,0$  кг. Трением в шарнире и направляющих троса пренебречь.

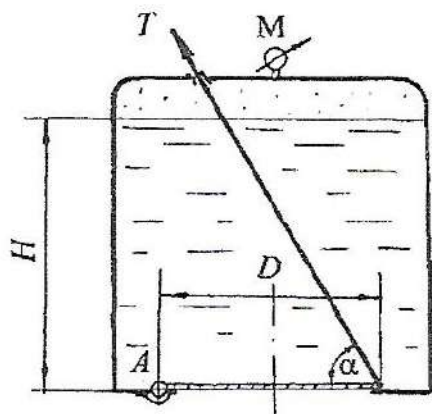


Рис. 2.18

### Задача 2.19.

Патрубок маслобака квадратного сечения со стороной  $a = 150$  мм перекрывается крышкой  $AB$ , перемещающейся в вертикальных пазах, (рис. 2.19).

Определить начальную силу  $F$  для открытия крышки, если показание манометра, установленного на верхней стенке патрубка,  $p_{\text{ман}} = 0,12$  ат. Принять плотность масла  $\rho_{\text{мас}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент трения скольжения в пазах  $f = 0,5$ . Масса крышки  $M = 2,0$  кг.

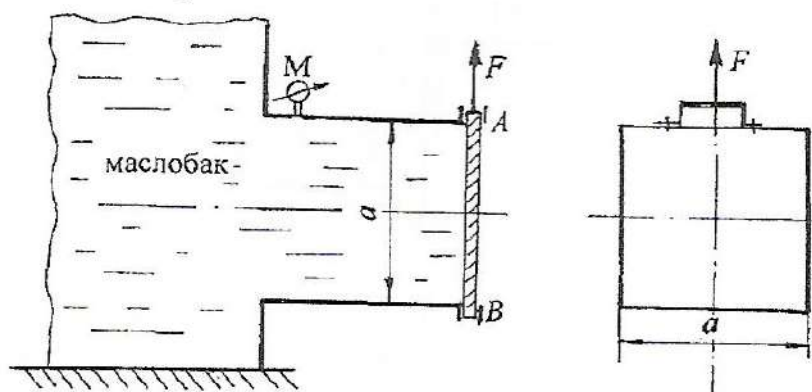


Рис. 2.19

### Задача 2.20.

Закрытый резервуар, заполненный водой, находится под давлением. В резервуаре донное круглое отверстие диаметром  $d = 300$  мм закрывается крышкой  $D = 380$  мм, закреплённой шарниром в точке  $A$  (рис. 2.20).

Определить силу  $F$ , удерживающую крышку в закрытом положении, если масса крышки  $M = 3,0$  кг. Показание манометра на расстоянии  $h = 1,5$  м от дна  $p_{\text{ман}} = 0,25$  ат. Плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

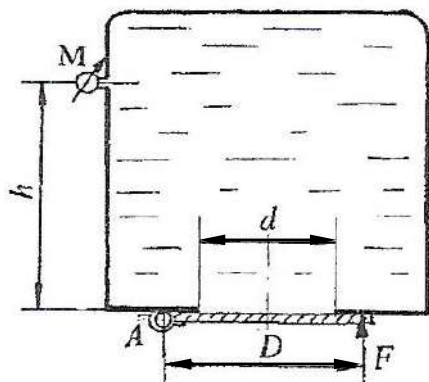


Рис. 2.20

### Задача 2.21.

Прямоугольный плоский щит, перекрывающий канал шириной  $B = 2,0$  м, вверху поддерживается двумя крюками, а внизу соединён шарнирно с дном канала (рис. 2.21). Слева щит удерживает напор воды  $h_1 = 2,1$  м, справа -  $h_2 = 0,9$  м. Крюки укреплены на расстоянии  $a = 0,5$  м от верхнего уровня воды. Определить реакции крюков  $R_{\text{кр}}$  от действия воды на щит.

Ответ:  $R_{\text{кр}} = 5,36$  кН.

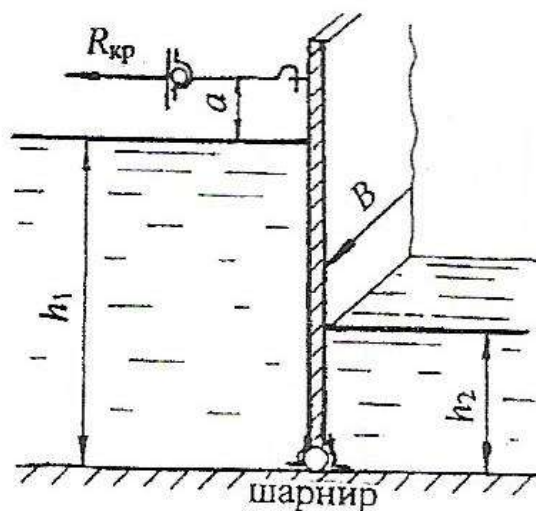
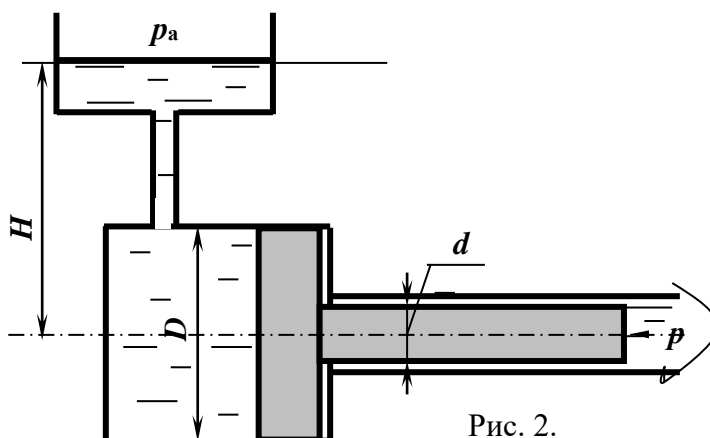


Рис. 2.21

### Задача 2.22.

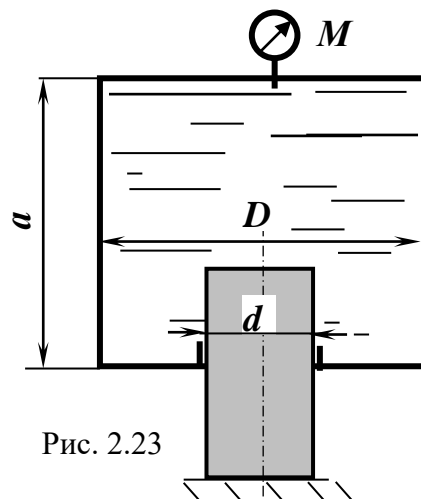
Определить отношение  $D/d$ , а также значение диаметра поршня  $D$ , если давление в полости штока  $p_{\text{ман}} = 25$  ат, диаметр  $d = 10$  см,  $H = 1$  м.



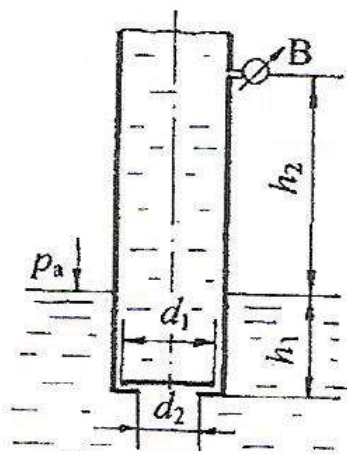
### Задача 2.23.

Полностью заполненный водой цилиндрический сосуд диаметром  $D$  и высотой  $a$  опирается на плунжер диаметром  $d$ .

Определить минимальный диаметр плунжера из условия равновесия сосуда, если сила его тяжести  $G = 5700$  Н;  $D = 0,2$  м;  $a = 0,4$  м, а показание манометра  $M$  составляет  $p_M = 30$  ат.



### Задача 2.24.



Во всасывающем трубопроводе центробежного насоса на входе установлен обратный клапан в виде диска диаметром  $d_1 = 100$  мм, который перекрывает входное отверстие диаметром  $d_2 = 75$  мм для пропуска воды (рис. 2.24). Трубопровод заглублён на уровень  $h_1 = 1,0$  м. Определить необходимый вакуум ( $p_{\text{вак}}$ ) на высоте  $h_2 = 2,0$  м для открытия клапана в момент пуска насоса.

Атмосферное давление  $p_a = 740$  мм рт. ст.



### Задача 2.25.

Цилиндрический полый резервуар диаметром  $D = 500$  мм в широкой части и  $d = 250$  мм в узкой части через уплотнение входит в резервуар с водой, в котором выведен пьезометр (рис. 2.25).

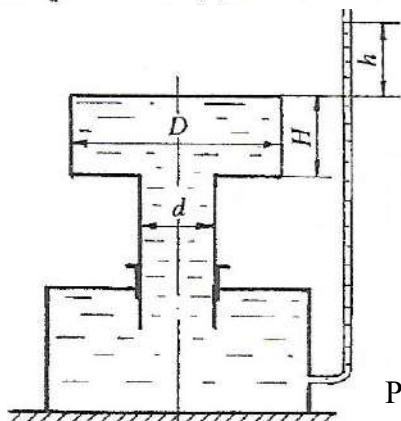


Рис. 2.25

Определить, каким должно быть превышение уровня воды в пьезометре ( $h$ ) для равновесного состояния цилиндрического резервуара, если высота широкой части цилиндра  $H = 0,3$  м. Плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

## ТЕМА 3

### **Сила давления покоящейся жидкости на криволинейные поверхности**

## Методические рекомендации по решению задач

### Тема 3

## Сила давления покоящейся жидкости на криволинейные поверхности

Сила давления на криволинейную поверхность (или равнодействующая давления) определяется как геометрическая сумма составляющих по двум или трем выбранным направлениям.

Применяемые в технике криволинейные поверхности чаще всего являются поверхностями вращения, т.е. имеют ось симметрии. В этом случае для определения достаточно двух составляющих - горизонтальной и вертикальной, ее модуль определяется по зависимости:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}.$$

Горизонтальная составляющая силы давления на криволинейную поверхность равна силе давления жидкости на плоскую вертикальную проекцию криволинейной поверхности:

$$R_x = p_c A_y$$

для силы весового давления

$$R_x = \rho g y_c A_y = \rho g h_c A_y$$

где  $\rho$  - плотность жидкости;

$y_c$  - координата или глубина погружения центра тяжести **вертикальной проекции** криволинейной поверхности, (координата  $y$  и глубина  $h$  чаще всего совпадают).

$A_y$  - площадь вертикальной проекции.

Другими словами, чтобы найти горизонтальную составляющую, нужно криволинейную поверхность спроектировать внутрь жидкости на вертикальную плоскость и найти силу давления на полученную вертикальную проекцию.

Глубину погружения точки приложения горизонтальной составляющей, т.е. центра давления, определяем по известной формуле

$$y_d = y_c + \frac{I_c}{y_c \cdot A_y};$$

$I_c$  - центральный момент инерции для вертикальной проекции.

Вертикальная составляющая силы давления жидкости на криволинейную поверхность равна весу жидкости в объеме тела давления:

$$R_y = \rho g W_{\text{т.д.}}$$

Тело давления представляет собой объем жидкости (действительной или условной), который ограничен:

- самой криволинейной поверхностью;
- ее проекцией на горизонт свободной поверхности жидкости, или его продолжение, или на условную пьезометрическую плоскость;
- поверхностями, образованными вертикальными проектирующими линиями при проектировании контура криволинейной поверхности (с боков).

Возможны три случая при построении тела давления:

Реальное (или положительное) тело давления строится на смоченной стороне криволинейной поверхности и заполнено жидкостью. Вертикальная составляющая  $R_y$  считается положительной и направлена вниз.

Фиктивное (или отрицательное) тело давления строится на несмоченной стороне криволинейной поверхности. В фиктивном теле давления жидкость отсутствует и для определения ее силы тяжести (т.е.  $R_y$ ) объем заполняется жидкостью условно. Вертикальная составляющая  $R_y$  считается отрицательной и направлена вверх.

Итак, если жидкость действует на криволинейную поверхность сверху вниз надо искать реальное тело давления, снизу вверх - фиктивное. Но часто бывают случаи, когда на отдельных участках криволинейной поверхности наблюдается различные направления действия жидкости.

Смешанное тело давления определяется как *суммарный* результат действия жидкости на отдельных участках с учетом направления.

Точкой приложения вертикальной составляющей силы давления  $R_y$  является **центр тяжести** тела давления.

Для построения тела давления поступают следующим образом: точки криволинейной поверхности проектируют на свободную поверхность жидкости или ее продолжение. Анализируют, если в полученном объеме жидкость реально существует, собственным весом давит на криволинейную поверхность, при этом тело давления построено на смоченной части криволинейной поверхности, то оно считается положительным, заштриховывается вертикальными линиями со стрелками вниз. Таким образом, получают как бы эпюру тела давления. Вертикальную составляющую из центра тяжести тела давления направляют вниз

В противном случае, если тело давления построено на несмоченной части криволинейной поверхности, не заполнено жидкостью, оно заштриховывается стрелками вверх (объем как бы вытеснен). Тело давления отрицательное. Вертикальную составляющую направляют вверх.

Найдем угол наклона  $\alpha$  равнодействующей к горизонту  $\text{tg } \alpha$  :

$$\text{tg } \alpha = R_y/R_x = 642/784 = 0,82; \quad \alpha = 39^\circ.$$

Центром давления является точка пересечения линии действия силы с криволинейной поверхностью.

Для криволинейных поверхностей, симметричных относительно вертикальной оси, помещенных в жидкость или заполненных ею, полное действие жидкости по горизонтали уравновешено, и решение сводится к определению вертикальной составляющей (в случае фиктивного тела давления – к архимедовой силе выталкивания). Но при решении задач на прочность важной составляющей является горизонтальная проекция, действующая на одну половину поверхности.

### Задача 3.1.

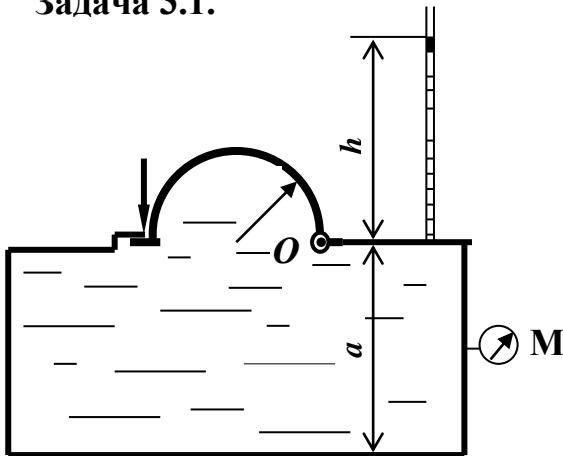


Рис. 3.1

Запорное устройство полусферической крышки радиусом  $r$  рассчитано на усилие  $N$ . Определить показание манометра в центре боковой стенки при максимально допустимом давлении в жидкости плотностью  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ :  
 $N = 90 \text{ кН}$ ,  $a = 3 \text{ м}$ ,  $r = 0,4 \text{ м}$ .

### Задача 3.2.

По дну водоёма проложен стальной трубопровод диаметром  $d = 400 \text{ мм}$  для пропуска загрязнённых сточных вод в очистные сооружения. Трубопровод уложен на глубине  $H = 10 \text{ м}$ .

Определить силу, действующую на трубопровод сверху ( $R_{\text{верт}}$ ); силы, действующие на боковые поверхности ( $R_{\text{гор}}$ ); рассчитать минимальную толщину стенок ( $\delta$ ) незаполненной трубы, чтобы исключить возможность её всплытия.

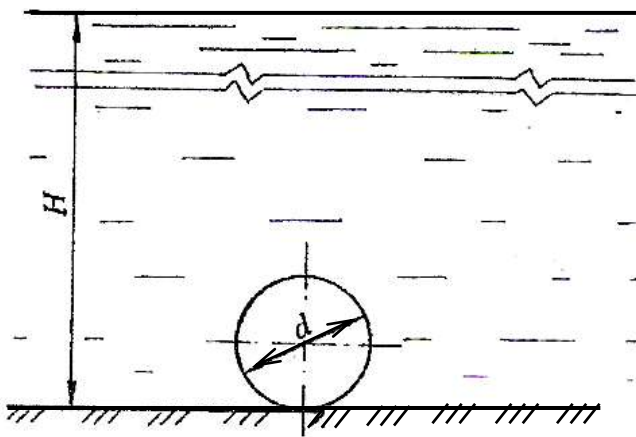
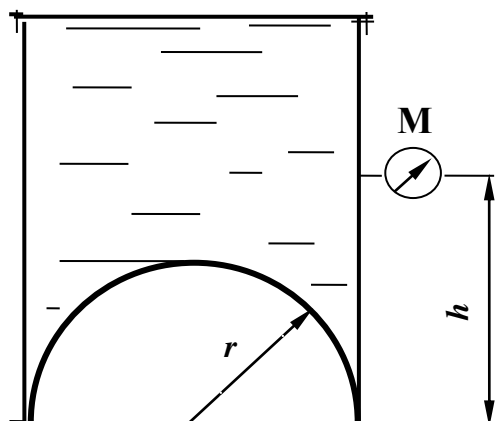


Рис. 3.2

Принять плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; плотность стали  $\rho_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

Расчёты отнести к длине трубы  $l = 1,0 \text{ м}$ .

### Задача 3.3.



Определить силу давления воды на полусферическое дно резервуара радиуса  $r = 1$  м, если показание манометра  $M$ , установленного на расстоянии  $h = 1,3$  м от оси полусферы, равняется  $p_{\text{ман}} = 0,2$  бар.

Рис. 3.3

### Задача 3.4.

Резервуар, заполненный маслом плотностью  $\rho_{\text{масл}} = 880 \text{ кг/м}^3$ , имеет донное отверстие диаметром  $d = 300 \text{ мм}$ , которое перекрывается коническим клапаном высотой  $h = 240 \text{ мм}$ .

Определить глубину заполнения резервуара  $H$ , если сила натяжения троса, необходимая для открытия клапана,  $T = 368,2 \text{ Н}$ ; абсолютное давление на поверхности масла  $p_{\text{абс}} = 0,94 \text{ ат}$ . Масса клапана  $M = 4,0 \text{ кг}$ . Трение в ролике  $B$  не учитывать.

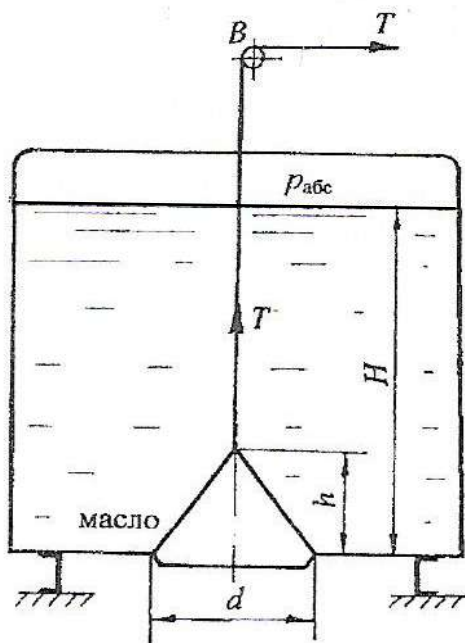


Рис. 3.4

### Задача 3.5.

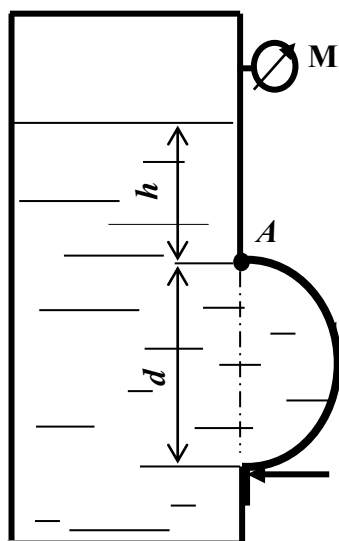


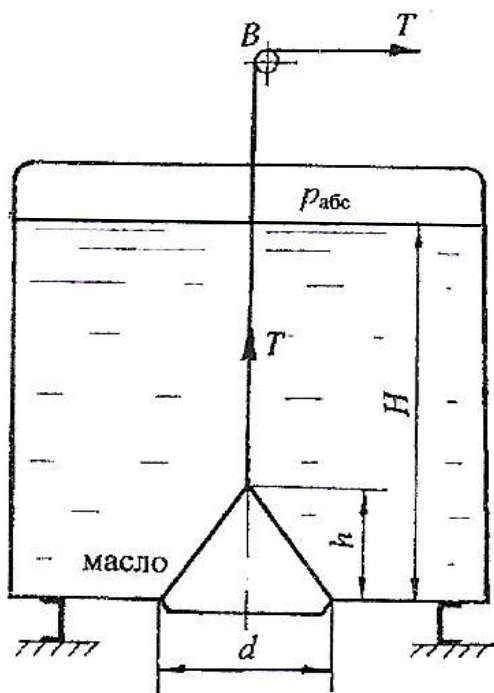
Рис. 3.5

Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом с плотностью  $\rho = 846 \text{ кг/м}^3$ . В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие, закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может поворачиваться вокруг горизонтальной оси шарнира  $A$ . Определить усилие  $N$ , которое нужно приложить, чтобы крышка не открывалась при следующих данных:  $p_{\text{ман}} = 11,4 \text{ кПа}$ ;  $d = 1 \text{ м}$ ;  $h = 1 \text{ м}$ ;  $b = 1,2 \text{ м}$ . Силой тяжести крышки пренебречь.

Размер  $b$  перпендикулярен плоскости чертежа.

### Задача 3.6.

Резервуар, заполненный маслом плотностью  $\rho_{\text{масл}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , имеет донное круглое отверстие диаметром  $d = 400 \text{ мм}$ , которое перекрывается коническим клапаном высотой  $h = 300 \text{ мм}$ .



Определить силу натяжения троса  $T$ , необходимую для открытия клапана, если глубина заполнения резервуара  $H = 1,2 \text{ м}$ , абсолютное давление на поверхности масла  $p_{\text{абс}} = 1,09 \text{ ат}$ . Масса клапана  $M = 5,0 \text{ кг}$ . Трение в ролике  $B$  не учитывать.

Рис. 3.6



### Задача 3.7.

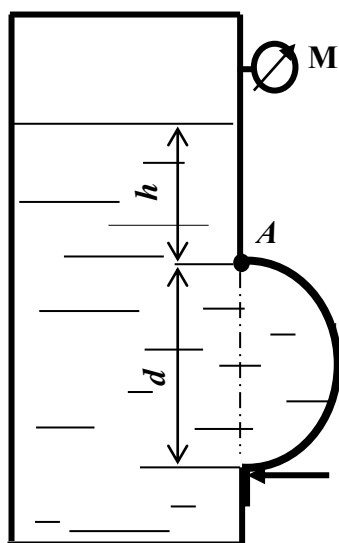


Рис. 3.7

Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом с плотностью  $\rho = 846 \text{ кг/м}^3$ . В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие, закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может поворачиваться вокруг горизонтальной оси  $A$ . Определить минимальное показание манометра, установленного в верхней части резервуара, при котором крышка остается закрытой, при следующих данных: сила тяжести крышки  $G = 1200 \text{ Н}$ , усилие  $N = 5 \text{ кН}$ ,  $d = 0,2 \text{ м}$ ;  $h = 1 \text{ м}$ ;  $b = 1,2 \text{ м}$ . Размер  $b$  перпендикулярен плоскости чертежа.

### Задача 3.8.

Водонапорный бак оборудован устройством для ограничения уровня воды в виде полусферического клапана  $A$  диаметром  $d = 150 \text{ мм}$ , соединённого тягой с цилиндрическим поплавком  $B$  диаметром  $D = 400 \text{ мм}$ .

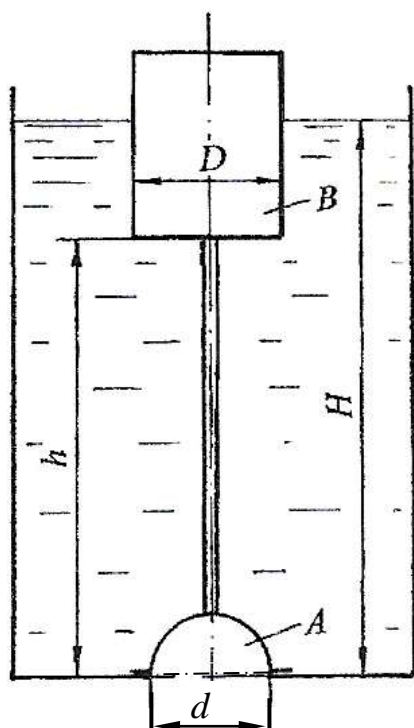


Рис. 3.8

При повышении уровня воды выше предельного значения погружение поплавка достигает такой величины, при которой выталкивающая сила для поплавка превышает силу давления воды на клапан и силу тяжести устройства. Клапан открывается, через донное отверстие сбрасывается часть воды. При снижении уровня воды клапан закрывается.

Определить расстояние  $h$  от дна резервуара до низа поплавка, при котором будет обеспечена глубина заполнения  $H = 4,0 \text{ м}$ . Сила тяжести устройства  $G = 125 \text{ Н}$ .



### Задача 3.9.

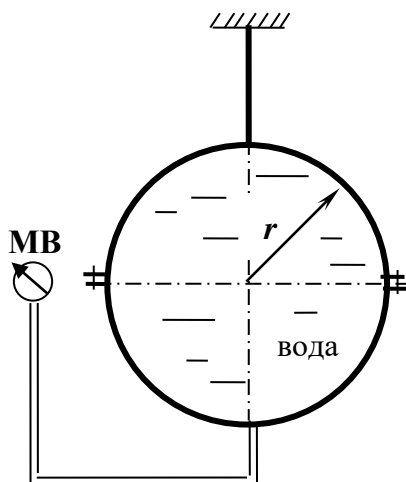


Рис. 3.9

Шаровой сосуд радиусом  $r = 0,4$  м, заполненный водой, висит на тяге, прикрепленной к его верхней половине. Найти давление в центре сосуда (показание пружинного мановакуумметра МВ), при котором нижнюю половину сосуда, имеющую силу тяжести  $G = 1500$  Н, можно не закреплять. Каким должно быть показание прибора, если силу тяжести не учитывать?

### Задача 3.10.

В резервуаре, заполненном бензином, боковое круглое отверстие диаметром  $d = 400$  мм закрыто конусной крышкой длиной  $l = 300$  мм.

Определить растягивающее ( $R_{\text{раст}}$ ) и сдвигающее ( $R_{\text{срез}}$ ) усилия для шести болтов, крепящих крышку. Показать их линии действия и геометрическое положение.

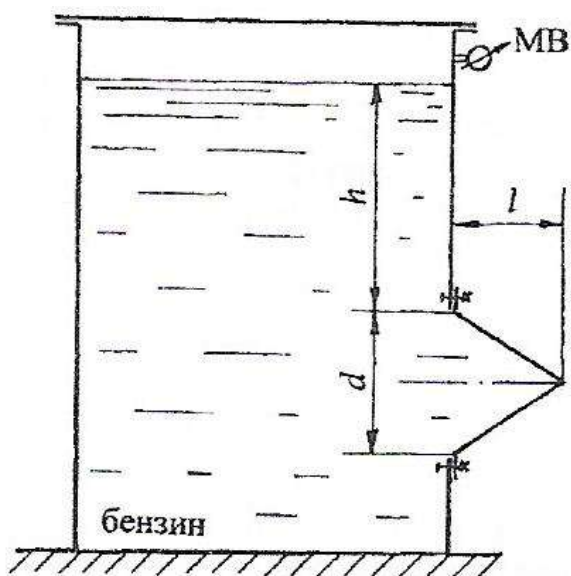


Рис. 3.10

Уровень бензина над верхней кромкой крышки  $h = 1,5$  м. Показание мановакуумметра соответствует манометрическому давлению  $p_{\text{ман}} = 0,15$  ат. Плотность бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 750$  кг/м<sup>3</sup>. Масса конической крышки  $M = 4,0$  кг.

### Задача 3.11.

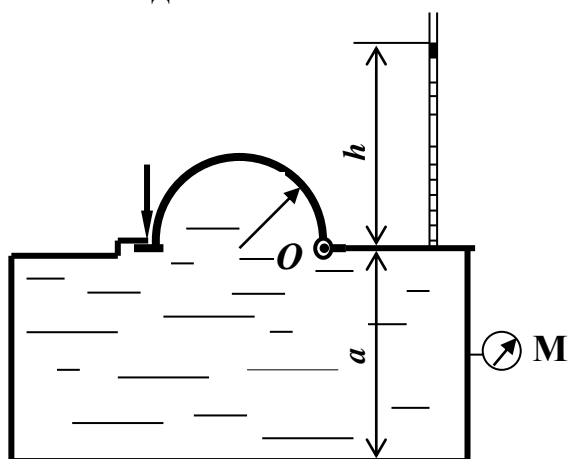


Рис. 3.11

Определить усилие  $N$ , которое нужно приложить к цилиндрическому затвору, установленному на квадратном отверстии крышки резервуара с водой, при следующих данных:  $h = 1$  м,  $r = 0,2$  м. Затвор поворачивается вокруг шарнира в точке  $A$ .

### Задача 3.12.

В резервуаре, заполненном бензином, боковое круглое отверстие диаметром  $d = 450$  мм закрыто конусной крышкой длиной  $l = 350$  мм, закреплённой на болтах. Уровень бензина над верхней кромкой крышки  $h = 1,2$  м.

Определить показание мановакуумметра ( $p_{mv}$ ), установленного над свободной поверхностью бензина, если растягивающее усилие в шести болтах  $R_{\text{раст}} = 3,5$  кН. Рассчитать срезающее усилие в болтах ( $R_{\text{срез}}$ ), соответствующее вертикальной силе давления, показать его линию действия и геометрическое положение. Масса крышки  $M = 5,0$  кг. Плотность бензина  $\rho = 720$  кг/м<sup>3</sup>.

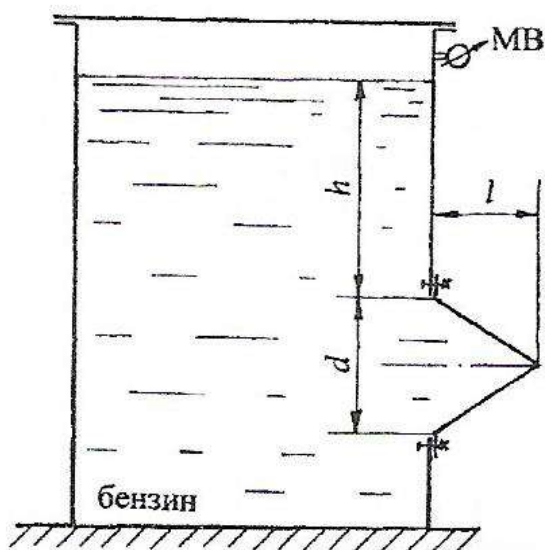
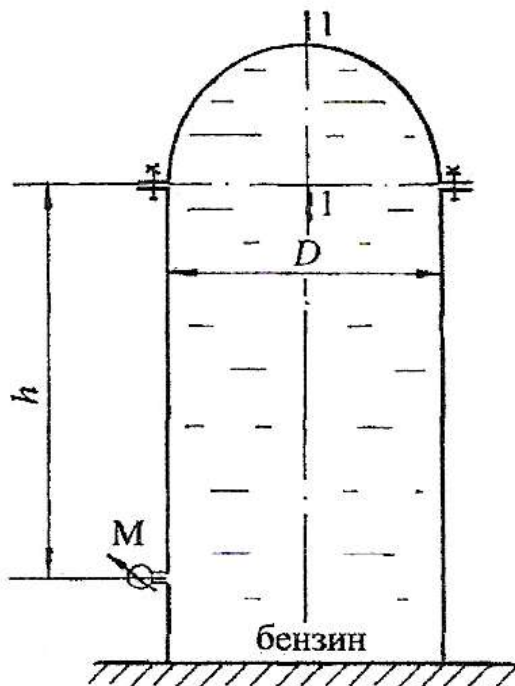


Рис. 3.12

### Задача 3.13.

Цилиндрический резервуар диаметром  $D = 1,2$  м, заполненный бензином плотностью  $\rho_{\text{бенз}} = 750$  кг/м<sup>3</sup>, закрыт полусферической крышкой, закреплённой шестью болтами (рис. 3.13). Резервуар находится под давлением. Показание манометра на глубине  $h = 1,9$  м от оси крышки  $p_{\text{ман}} = 0,24$  ат.



Определить величину и направление растягивающей силы, воспринимаемой болтами ( $R_{\text{раст}}$ ), соответствующей вертикальной силе давления на полусферическую крышку. Рассчитать горизонтальные силы ( $R_{\text{гор}}$ ), разрывающие полусферическую крышку по сечению 1-1, показать расстояние ( $h_{\text{гор}}$ ) линий действия этих сил от оси полусферы.

Рис. 3.13

### Задача 3.14.

Определить величину, линию действия, угол наклона и глубину центра давления ( $h_{D \text{ равн}}$ ) равнодействующей на полусферическую крышку в плоской вертикальной стенке закрытого резервуара (рис. 3.14), заполненного бензином. Радиус полусферы  $r = 0,2$  м, показание пьезометра, выведенного на уровне нижней кромки крышки  $H = 0,8$  м, плотность бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 800$  кг/м<sup>3</sup>.

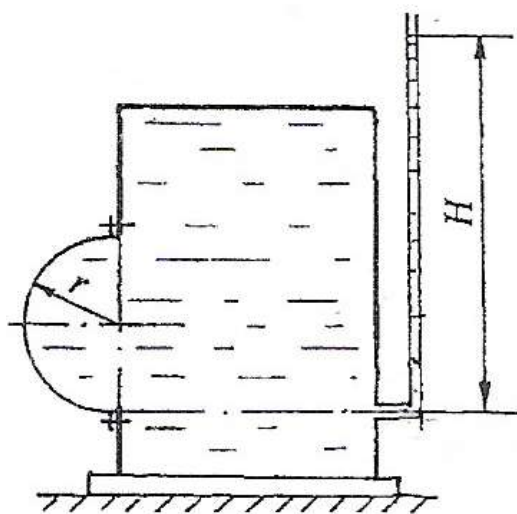


Рис. 3.14.



### Задача 3.15.

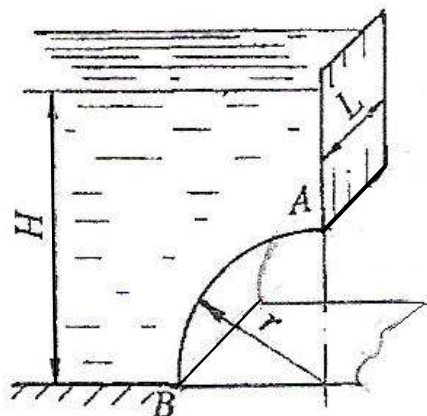


Рис. 3.15.

Определить равнодействующую давления масла на цилиндрическую стенку резервуара  $AB$  (рис. 3.15). линию действия, угол наклона силы и глубину погружения центра давления ( $h_{D_{\text{равн}}}$ ), если глубина наполнения  $H = 0,8$  м; радиус цилиндрической части  $r = 0,6$  м; секторный угол  $90^\circ$ ; длина образующей цилиндрической поверхности  $L = 1,2$  м. Плотность масла  $\rho_{\text{масл}} = 860$  кг/м<sup>3</sup>.

### Задача 3.16.

Вертикальная цилиндрическая цистерна с полусферической крышкой до самого верха заполнена жидкостью с плотностью  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>, находящейся под давлением  $p_{\text{ман}}$  (рис. 3.16).

Усилие, растягивающее болты  $A$  (вертикальная составляющая силы давления) составляет 8,55 кН. Определить показание манометра и горизонтальную силу, разрывающую цистерну по сечению 1-1, при следующих данных:  $r = 1$  м;  $h = 4$  м.

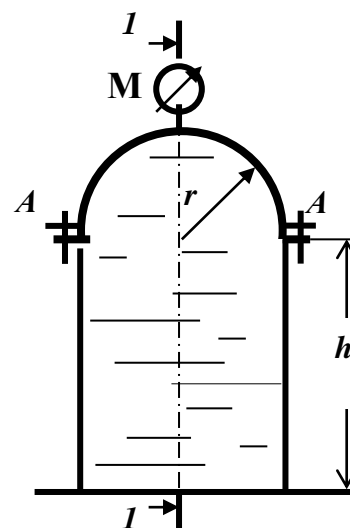


Рис. 3.16

### Задача 3.17.

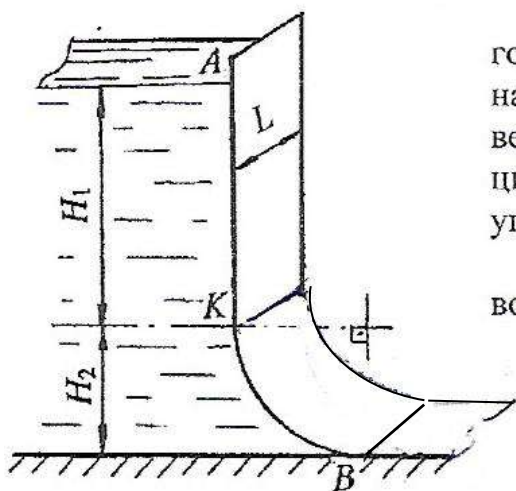


Рис. 3.17

Определить величину и угол наклона к горизонту равнодействующей давления воды на стенку резервуара  $AKB$ , состоящую из вертикальной плоской стенки  $AK$  и цилиндрической поверхности  $KB$  с секторным углом  $90^\circ$

Ширина резервуара  $L = 3,0$  м, напоры воды соответственно  $H_1 = 2,0$  м,  $H_2 = 1,0$  м.

### Задача 3.18.

Определить величину, угол наклона и глубину центра давления для равнодействующей давления воды на криволинейную стенку  $AB$  (рис. 3.18). длиной  $L = 10$  м. Действующий напор  $H = 4,0$  м. Криволинейная стенка представляет часть цилиндрической поверхности с секторным углом  $\phi = 60^\circ$ .

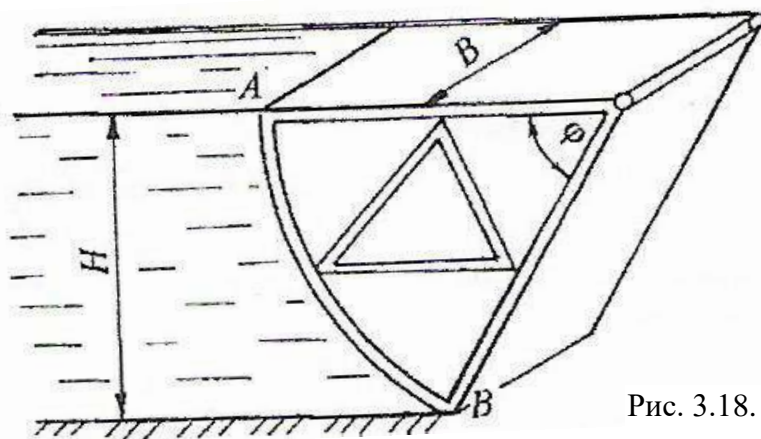


Рис. 3.18.

### Задача 3.19.

Определить величину равнодействующей давления воды ( $R$ ) на криволинейную стенку  $AB$  (рис. 3.19), линию действия, угол наклона к горизонту ( $\alpha$ ) и глубину центра давления ( $h_{D \text{ равн}}$ ) для силы. Длина стенки  $L = 3,0$  м, удерживаемый напор  $H = 1,5$  м. Стенка  $AB$  представляет часть цилиндрической поверхности с секторным углом  $\phi = 60^\circ$ .

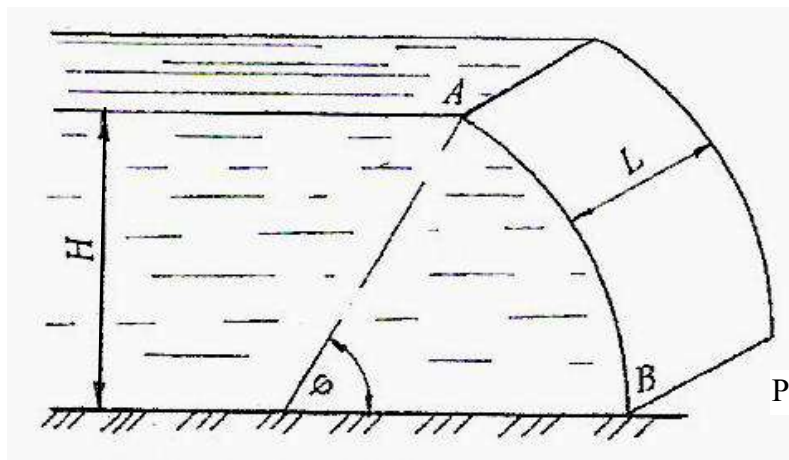


Рис. 3.19.

### Задача 3.20.

Определить величину и угол наклона к горизонту равнодействующей сил давления воды на устройство в виде цилиндрического затвора (рис. 3.20), если диаметр цилиндра  $D = 0,9$  м, действующий напор слева  $H = 1,2$  м, справа  $h = D/2$ . Длина цилиндрического затвора  $L = 4,0$  м.

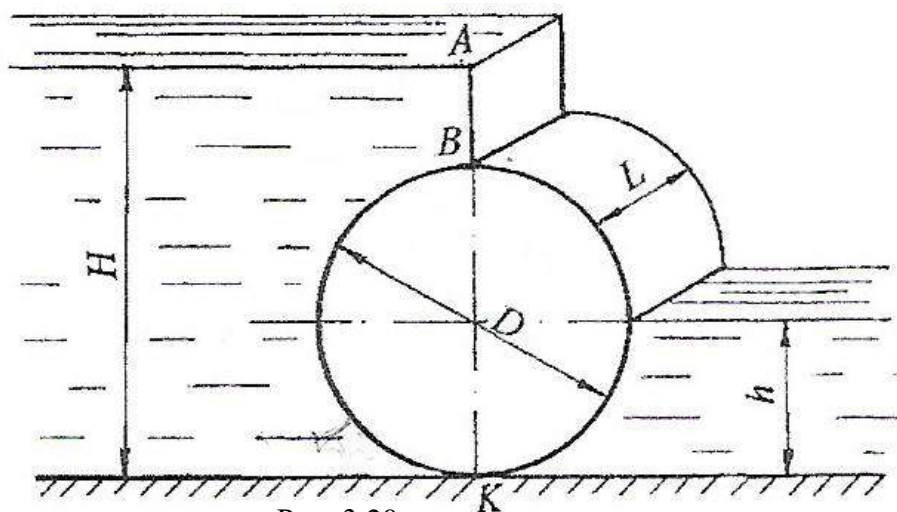


Рис. 3.20

### Задача 3.21.

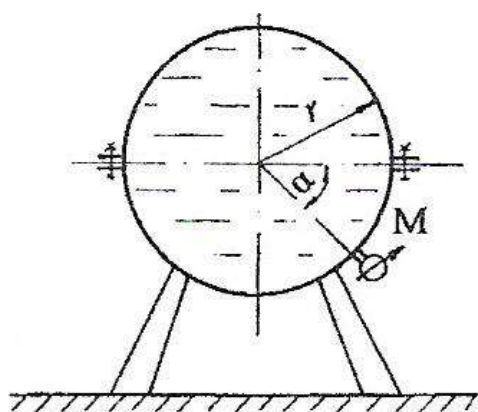


Рис. 3.21

Определить силу давления воды на верхнюю и нижнюю половины сферического резервуара радиусом  $r = 0,3$  м, полностью заполненного водой, а также растягивающее усилие в болтах фланцевого соединения (6 болтов), если показание манометра, установленного под углом  $\alpha = 45^\circ$  в нижней части резервуара  $p_{\text{ман.}} = 0,1$  ат. (рис. 3.21).



### Задача 3.22.

В вертикальной стенке резервуара сделано прямоугольное отверстие для выпуска воды. Отверстие перекрывается цилиндрическим затвором диаметром  $d = 0,6$  м и длиной  $L = 2,0$  м, установленным на цапфах.

Действующий напор на уровне оси затвора  $H = 0,8$  м (рис. 3.22).

Определить величину, линию действия, геометрическое положение и угол наклона к горизонту равнодействующей давления воды ( $R$ ) на поверхность затвора  $ACB$ . Плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Чертёж выполнить в масштабе.

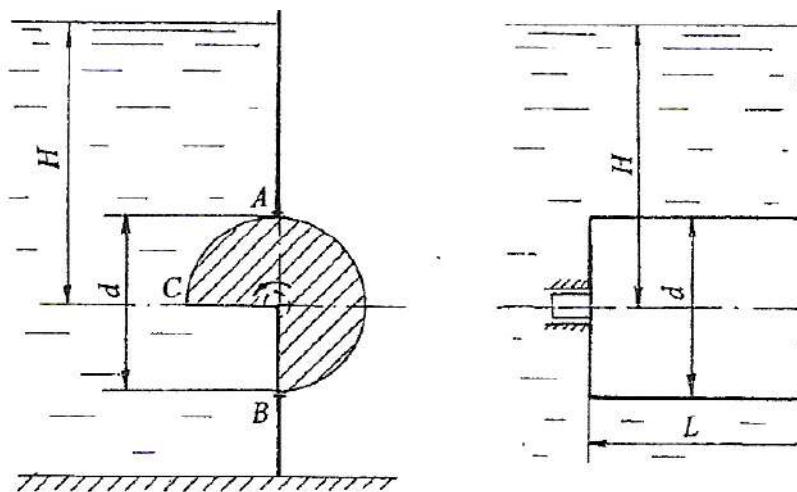


Рис. 3.22

### Задача 3.23.

В закрытом резервуаре, заполненном бензином, в боковой плоской стенке сделано круглое отверстие, которое закрывается полусферической крышкой радиусом  $r = 0,6$  м (рис. 3.23). Крышка укреплена с помощью шарнира в точке  $A$ . На расстоянии  $h = 1,2$  м от шарнира на свободной поверхности бензина действует вакуумметрическое давление  $p_{\text{вак}} = 0,05$  ат. Определить усилие  $F$  для удержания крышки в закрытом положении. Принять плотность бензина  $\rho_{\text{бенз.}} = 710$  кг/м<sup>3</sup>.

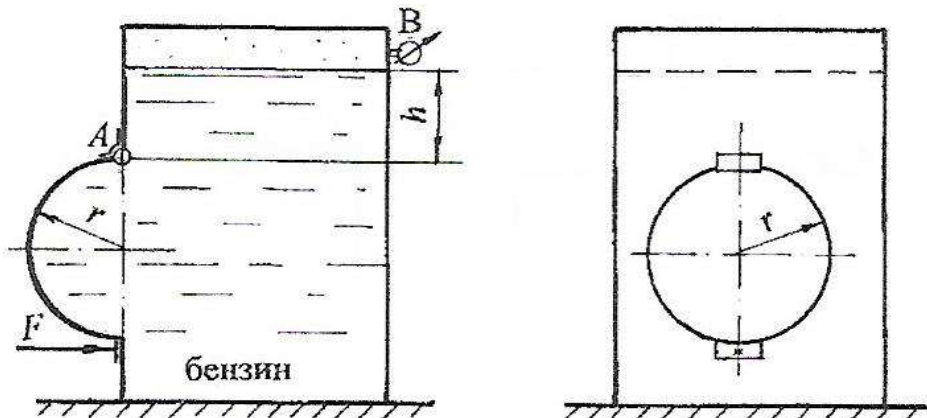


Рис. 3.23

### Задача 3.24.

Закрытый резервуар с полуцилиндрическим дном радиусом  $r = 0,6$  м и длиной  $L = 1,5$  м заполнен маслом плотностью  $\rho_{\text{масл}} = 900 \text{ кг/м}^3$  (рис. 3.24). Сила давления масла на дно резервуара  $R = 15,4$  кН. Определить, на какой высоте  $H$  от оси цилиндрической части установлен вакуумметр, показание которого  $p_{\text{вак.}} = 0,063$  ат.

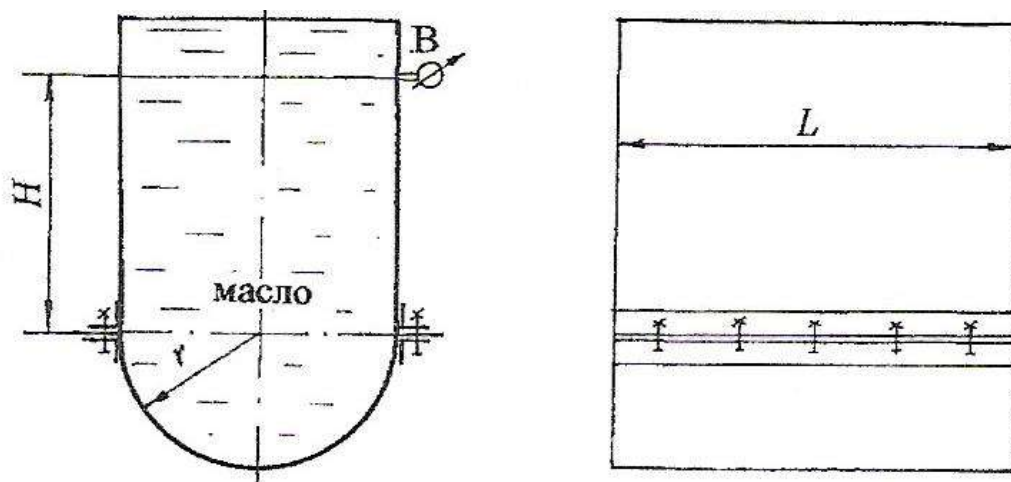


Рис. 3.24

### Задача 3.25.

Определить величину равнодействующей давления воды на полуцилиндрическую крышку  $AB$  закрытого резервуара и угол наклона силы к горизонту. Диаметр цилиндрической части  $D = 600$  мм, длина образующей цилиндрической поверхности  $L = 800$  мм, показание манометра, установленного на расстоянии  $h = 100$  мм от дна резервуара,  $p_{\text{ман.}} = 0,07$  ат (рис. 3.25).

Рассчитать растягивающее и сдвигающее усилие, воспринимаемое болтами крышки. Чертёж представить в масштабе.

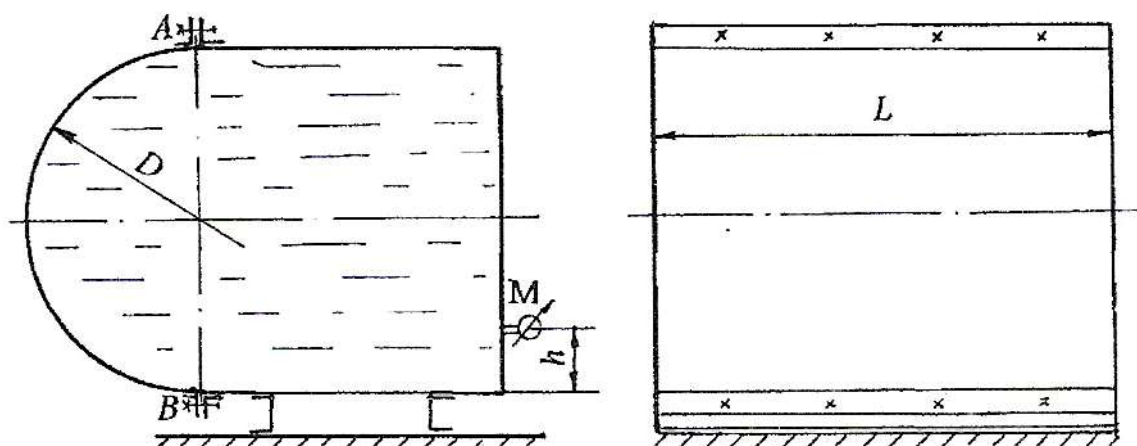


Рис. 3.25

## ТЕМА 4

### **Расчет простых коротких трубопроводов**

## Методические рекомендации по применению уравнения Бернулли

**1. Выбираются два сечения**, которые будут соединяться уравнением Бернулли. В качестве сечений могут быть приняты

- **поперечные сечения трубопровода**, где установлены приборы для измерения давления, а также выходное сечение трубы при выходе потока в атмосферу,
- **поверхности жидкости** в резервуарах.

Сечения нумеруются **по направлению движения жидкости**.

**2. Проводится горизонтальная плоскость сравнения (0-0)**, так, чтобы было удобно определять геометрическую высоту (напор)  $z$ . Её лучше всего (но не обязательно) проводить через **нижнее** из сечений. Тогда для этого сечения  $z = 0$ . Для сечений, расположенных **выше**,  $z$  - положительно.

**3. Записывается в общем виде уравнение Бернулли** для потока

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$$

**4. Определяются все параметры для рассматриваемых сечений в общем виде.** Лучше это оформить в соответствии со схемой таким образом: (данные под уравнением для каждого сечения в соответствие со схемой)

$$\begin{array}{ll} z_1 = & z_2 = \\ p_1 = & p_2 = \\ v_1 = & v_2 = \end{array}$$

В уравнение Бернулли рекомендуется подставлять **абсолютное давление в выбранных сечениях**. Так, если сечение открыто, или жидкость выходит из трубы в атмосферу, **абсолютное давление** равно атмосферному:  $p = p_a$ .

В закрытом резервуаре или на трубопроводе, где установлены приборы для измерения давления, **абсолютное давление** записывается в виде

$$p = p_a + p_{\text{ман}}; \quad \text{или} \quad p = p_a - p_{\text{вак}};$$

$p_{\text{ман}}$  и  $p_{\text{вак}}$  – показания манометра или вакуумметра в зависимости от прибора.

Для **сечений**, которые проведены по поверхности жидкости и имеют большую площадь, скорость принимается **равной** нулю  $v=0$ , в **сечениях** трубопровода **средняя скорость** равна  $v$ .

Определяются общие **потери напора**

$$h_w = \Sigma h_r + h_l$$

где  $h_r$  - местные потери напора, рассчитываемые по формуле Вейсбаха

$$h_r = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

$\zeta$  – коэффициент местного сопротивления, значения принимаются по таблицам;

$h_l$  - потери напора по длине, определяемые по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси).

**5. Все данные в общем виде выписываются под уравнением, выполняется их подстановка в уравнение, выводится расчетная формула для определяемого параметра и затем выполняется цифровой расчет в соответствие с типом задачи.**

При выполнении расчета наиболее трудоемким является вопрос по определению коэффициента Дарси. В связи с этим можно выделить три типа задач:

- с известным расходом,
- по определению расхода
- по выбору необходимого размера сечения потока.

### **Порядок цифрового расчета при заданном расходе $Q$**

Рассчитывается средняя скорость движения потока:

где  $Q$  – расход жидкости,  $v = \frac{Q}{\omega}$   
 $\omega$  – площадь живого сечения.

Для трубопроводов круглого сечения формула принимает вид

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{1,27Q}{d^2}$$

где  $d$  – диаметр трубы.

Затем находится число Рейнольдса,

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{1,27Q}{d\nu}$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости.

Определяется режим движения и принимаются соответствующие коэффициент Кориолиса и формула для расчета коэффициента Дарси.

$Re \leq 2300$  - ламинарный режим:  $\alpha = 2$ ;  $\lambda = \frac{64}{Re}$  - формула Пуазейля для трубопровода круглого сечения

$Re > 2300$  турбулентный режим:  $\alpha = 1$ ; формулы для  $\lambda$

«Гидравлически гладкие» трубы $Re \leq 20 d/\Delta_s$	Зона доквадратичного сопротивления $20 d/\Delta_s < Re < 500 d/\Delta_s$	Зона квадратичного сопротивления $Re \geq 500 d/\Delta_s$
$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ ф. Блазиуса	$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{\Delta_s}{d} \right)^{0,25}$ ф. Альбшуля	$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_s}{d} \right)^{0,25}$ ф. Шифринсона

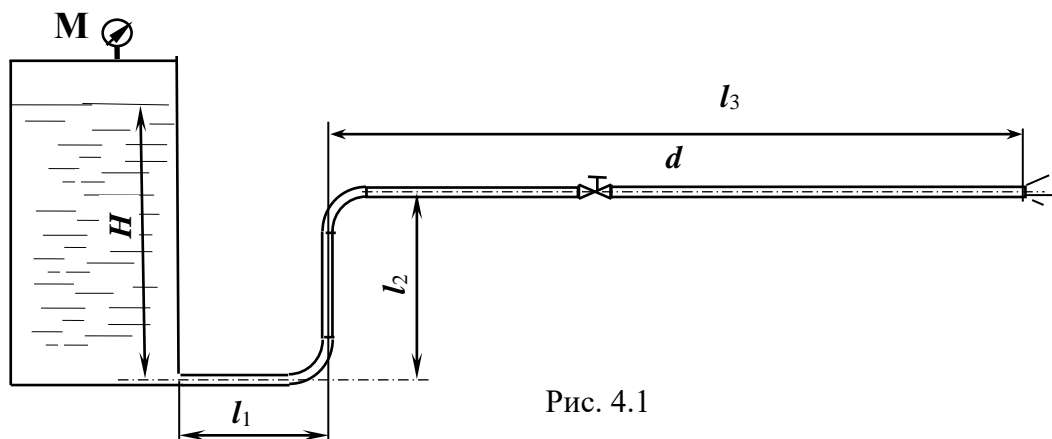
$\Delta_s$  – эквивалентная шероховатость поверхности, ограничивающей поток.

### **Порядок цифрового расчета при определении расхода $Q$**

В случае, если требуется определить расход, в первом приближении принимается, что режим турбулентный, область сопротивления – квадратичная, коэффициент  $\lambda$  определяется по формуле Шифринсона, из уравнения Бернулли определяется средняя скорость потока и затем расход.

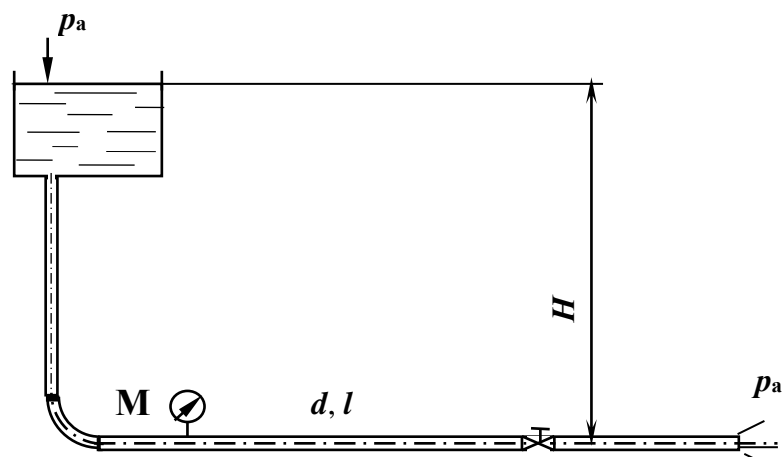
### Задача 4.1.

Определить при каком значении  $H$  будет обеспечена подача воды по трубопроводу с расходом  $Q = 20$  л/с. Диаметр трубы  $d = 100$  мм, длины участков составляют  $l_1 = 10$  м,  $l_2 = 4$  м,  $l_3 = 40$  м. Показание манометра, установленного на напорном баке, соответствует  $p_{\text{ман}} = 0,1$  ат. Труба старая, сильно загрязненная, вентиль полностью открытый. При расчете учесть все местные сопротивления.



### Задача 4.2.

Определить, на каком расстоянии от водонапорного бака установлен манометр, показания которого  $p_{\text{ман}} = 4,8$  кПа, если длина трубопровода  $l = 1000$  м, диаметр  $d = 100$  мм,  $H = 10$  м,  $\Delta_s = 0,2$  мм; принять режим турбулентный, область сопротивления квадратичная, учесть местные сопротивления, в том числе полностью открытый вентиль.





### Задача 4.3.

При постоянном напоре вода по двум трубам подаётся из резервуара *A* в резервуар *B* (рис. 4.3).

Определить разность уровней воды в резервуарах ( $H$ ) при расходе  $Q = 6,0$  л/с. Диаметры и длины труб:  $d_1 = 50$  мм,  $l_1 = 5,0$  м;  $d_2 = 100$  мм,  $l_2 = 10$  м, соответственно абсолютная шероховатость труб:  $\Delta_1 = 0,5$  мм,  $\Delta_2 = 0,6$  мм. На трубе диаметром  $d_1$  на расстоянии  $(1/3) l_1$  от входа в трубу установлен вентиль с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{вент}} = 4,0$ .

Учесть потери напора на входе и выходе трубопровода, а также при внезапном расширении.

Принять коэффициент кинематической вязкости воды  $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Построить напорную и пьезометрическую линии, показать эпюру потерь напора.

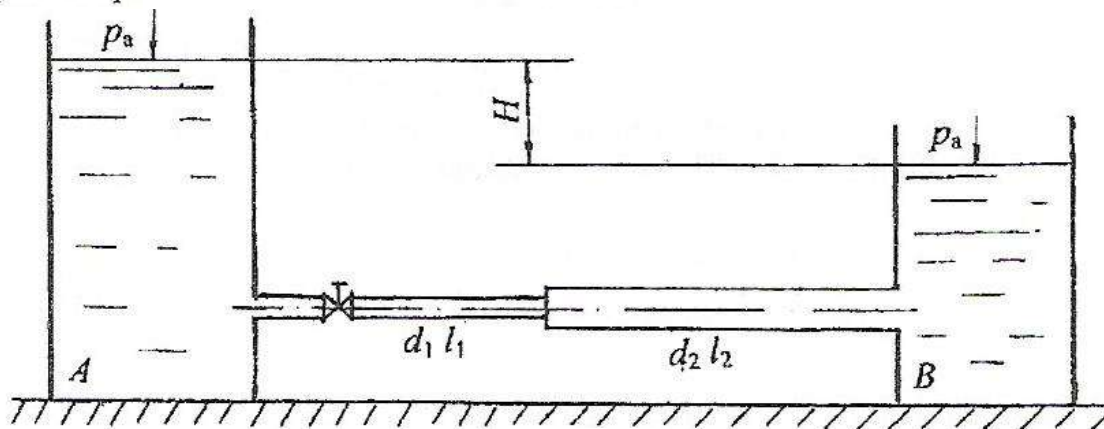


Рис.4.3.

### Задача 4.4.

С помощью насоса вода подаётся в напорный бак на высоту  $H = 6,0$  м, диаметр трубы  $d = 100$  мм, длина  $l = 80$  м. Показание манометра в начале трубопровода  $p_{\text{ман1}} = 1,5$  ат, в конце  $p_{\text{ман2}} = 0,75$  ат (рис. 4.4).

Определить, при каком коэффициенте сопротивления пробкового крана будет обеспечен расход  $Q = 6,0$  л/с.

Принять абсолютную шероховатость трубы  $\Delta = 0,5$  мм, коэффициент кинематической вязкости воды  $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

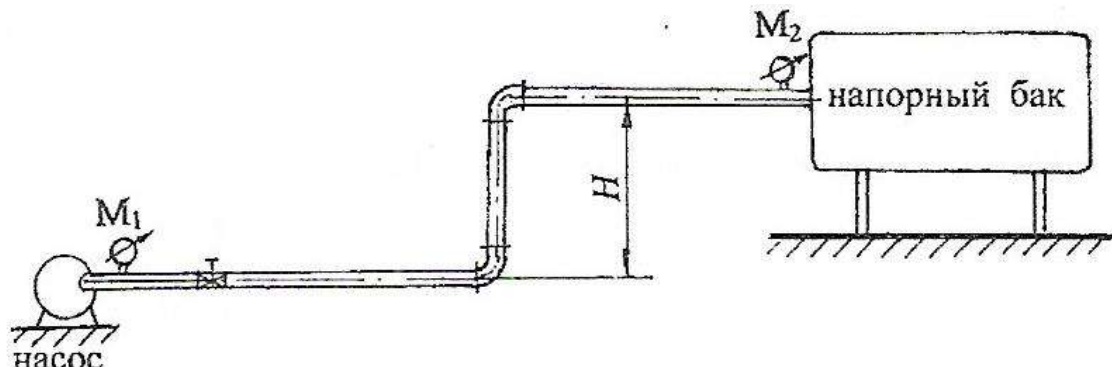


Рис. 4.4

#### Задача 4.5.

Определить расход воды  $Q$ , вытекающей из бака через трубу длиной  $l = 100$  м и диаметром  $d = 50$  мм под напором  $H = 4$  м. Коэффициент сопротивления крана принять равным  $\zeta_{кр} = 6$ . Труба стальная новая. Учесть все местные сопротивления.

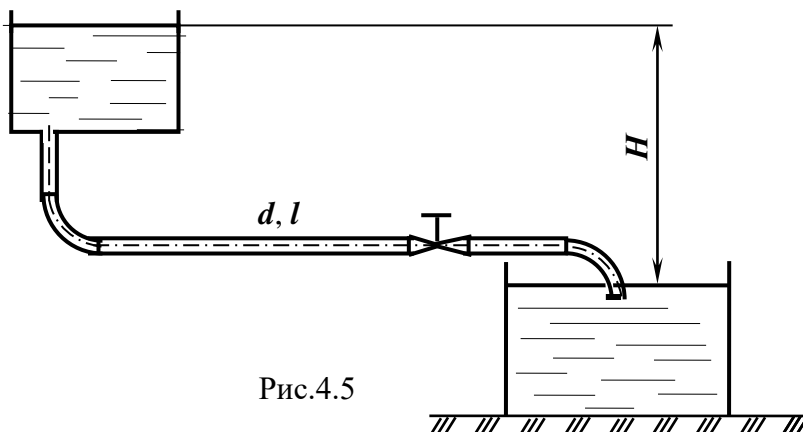


Рис.4.5

#### Задача 4.6.

Из напорного бака с избыточным давлением на поверхности  $p_{ман} = 0,13$  ат вода подаётся в зумпф по стальной умеренно заржавевшей трубе диаметром  $d = 50$  мм с абсолютной шероховатостью  $\Delta = 0,5$  мм, длиной  $l = 20,0$  м (рис. 4.6). На расстоянии  $l_1 = 8,0$  м показание манометра  $p_{ман1} = 0,19$  ат. В системе установлен пробковый кран с углом закрытия  $\alpha = 20^\circ$ . Потерями напора при входе в трубу пренебречь. Уровень воды в зумпфе ниже оси трубы на величину  $h = 0,5$  м.

Определить напор воды в баке ( $H$ ) и расход ( $Q$ ).

Принять турбулентный режим движения, область квадратичного сопротивления. По окончании расчёта проверить режим движения воды и область сопротивления.

Кинематический коэффициент вязкости воды  $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

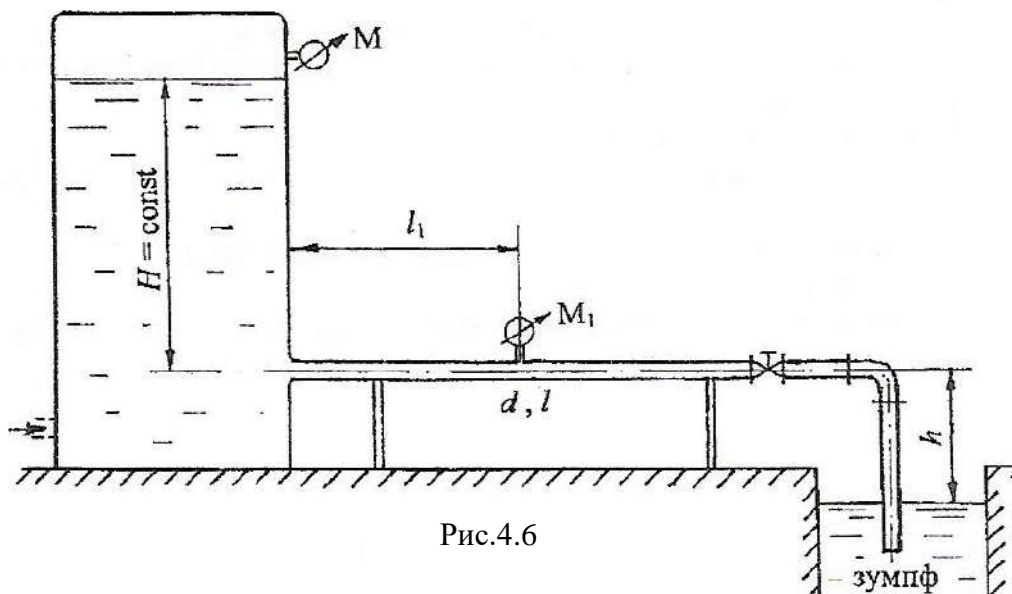


Рис.4.6



#### Задача 4.7.

Из водоёма с помощью центробежного насоса вода подаётся на горное предприятие (рис. 4.6).

Определить высоту расположения оси центробежного насоса над уровнем воды в водоёме ( $h_{\text{нас}}$ ), если расход воды  $Q = 30$  л/с, диаметр трубы  $d = 200$  мм, длина  $l = 25$  м, вакуумметрическое давление на входе в насос  $p_{\text{вак}} = 0,5$  ат. На входе в трубу установлена сетка с обратным клапаном. Учесть потери напора в трёх коленах при угле  $\alpha = 90^\circ$  и в задвижке Лудло со степенью закрытия  $a/d = 5/8$ . Считать трубу водопроводной загрязнённой.

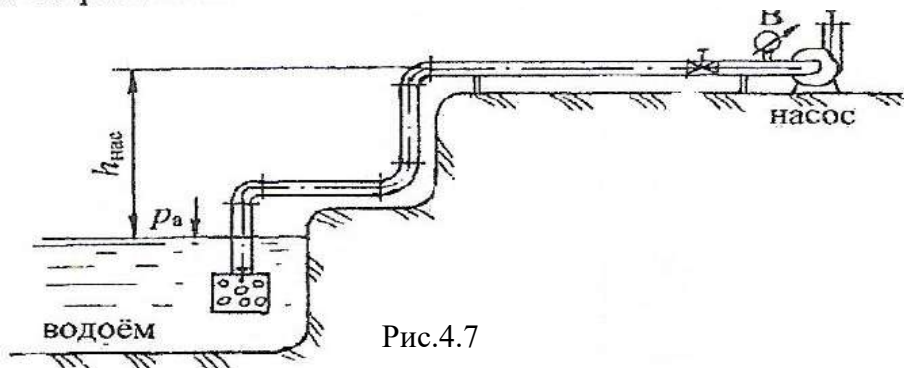


Рис.4.7

#### Задача 4.8.

С помощью насоса вода подаётся на высоту  $H = 10$  м с истечением в атмосферу по водопроводной трубе в нормальных условиях (рис. 4.8).

Диаметр трубы  $d = 200$  мм, длина трубы  $l = 50,0$  м. Пропускная способность системы  $Q = 40,0$  л/с. В системе установлена задвижка Лудло со степенью закрытия  $a/d = 5/8$ . Трубопровод имеет два колена с углом поворота  $\alpha = 90^\circ$  и одно колено с углом поворота  $\alpha_1 = 60^\circ$ , для которого коэффициент сопротивления  $\zeta_{\text{кол}} = 0,7$ .

Определить показание манометра, установленного после насоса ( $p_{\text{ман}}$ ), а также показание мановакуумметра ( $p_{\text{м.в.}}$ ), установленного в верхней точке трубопровода на высоте  $h = 4,0$  м от выхода воды из трубопровода.

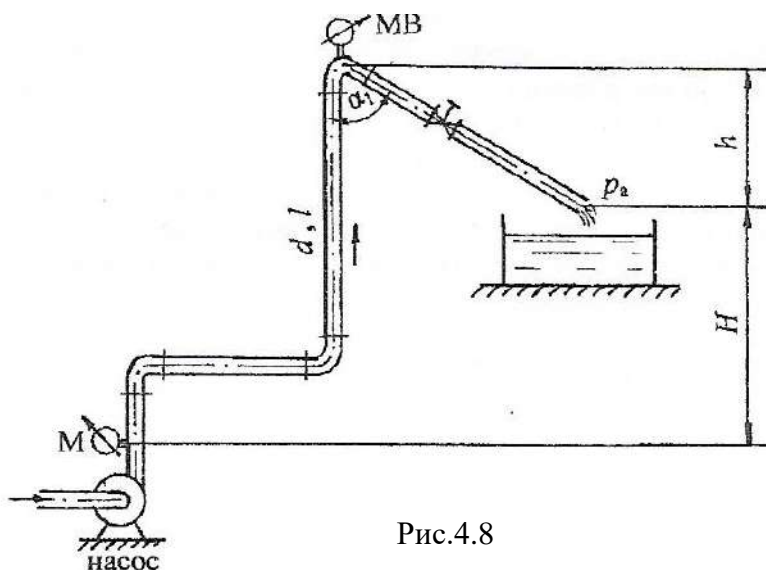
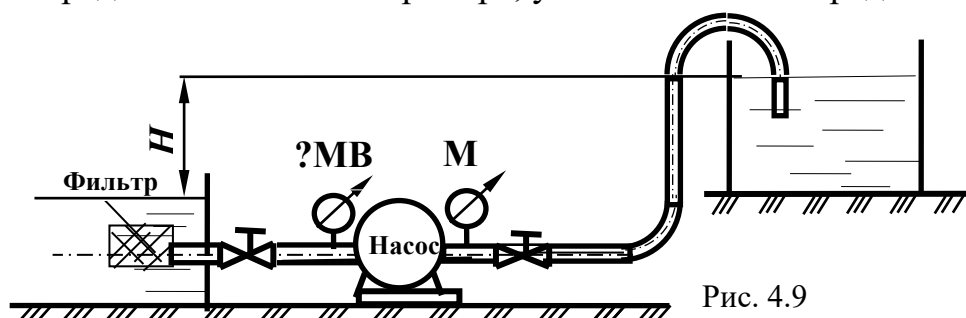


Рис.4.8

#### Задача 4.9.

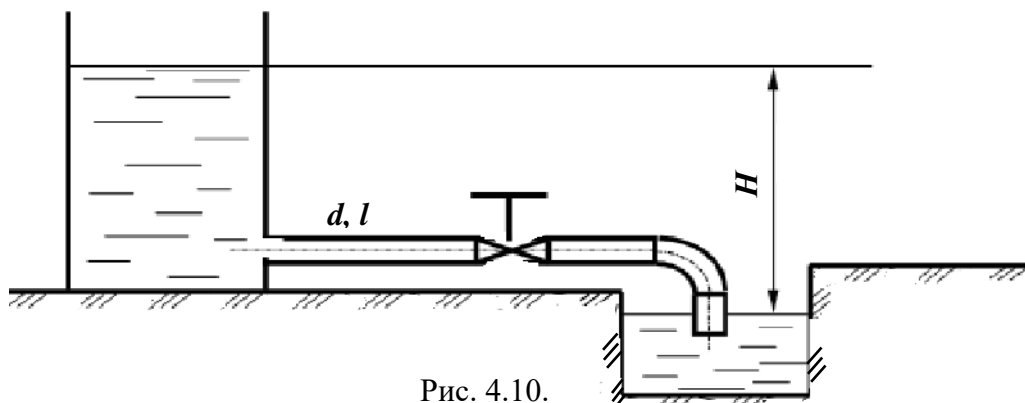
Насос подает дизельное топливо из нижнего бака в верхний. Определить напор, создаваемый насосом, и его полезную мощность, если плотность жидкости  $\rho_6 = 800 \text{ кг/м}^3$  и кинематическая вязкость  $\nu = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Геометрические параметры всасывающего трубопровода:  $d_{\text{вс}} = 125 \text{ мм}$ , длина  $l_{\text{вс}} = 10 \text{ м}$ ; нагнетательного трубопровода -  $d_{\text{н}} = 100 \text{ мм}$ ,  $l_{\text{н}} = 800 \text{ м}$ , эквивалентная шероховатость  $\Delta = 0,5 \text{ мм}$ . Высота подъема топлива  $H = 20 \text{ м}$  при подаче  $Q = 16 \text{ л/с}$ , показания манометра, установленного после насоса,  $p_{\text{ман}} = 1,2 \text{ ат}$ . Эквивалентную длину в линии нагнетания принять равной 20 м. В линии всасывания учесть потери напора в фильтре ( $\zeta_{\text{ф}}=17$ ) и в полностью открытом вентиле.

Определить также тип прибора, установленного перед насосом.



#### Задача 4.10.

Определить, какой должна быть разность уровней трансформаторного масла в резервуаре и отстойнике, чтобы по трубе диаметром  $d = 50 \text{ мм}$  и длиной  $l = 25 \text{ м}$  проходил расход  $Q = 3,0 \text{ л/с}$ . На трубе установлен пробковый кран с углом открытия  $\alpha = 20^\circ$ . Принять кинематический коэффициент вязкости масла  $\nu = 0,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .



#### Задача 4.11.

Из закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности  $p_{\text{ман}} = 0,8$  ат вода подаётся в открытый резервуар на высоту  $H$ . Для определения расхода воды на магистральном трубопроводе диаметром  $d_1 = 100$  мм и длиной  $l = 100$  м установлен расходомер Вентури с диаметром цилиндрической вставки  $d_2 = 50$  мм. Разность показаний пьезометров расходомера  $h = 0,62$  м (рис. 4.11).

Определить пропускную способность системы ( $Q$ ) и высоту подъёма воды ( $H$ ). Считать трубы водопроводные в нормальных условиях. Потерями напора в расходомере можно пренебречь. Учесть потери напора во всех местных сопротивлениях, принимая коэффициент сопротивления вентиля  $\zeta_{\text{вент}} = 14,5$ .

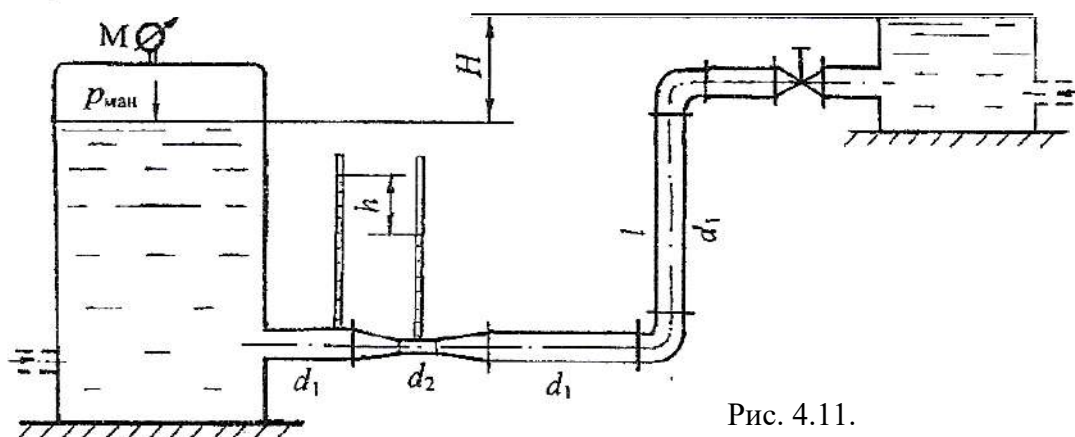
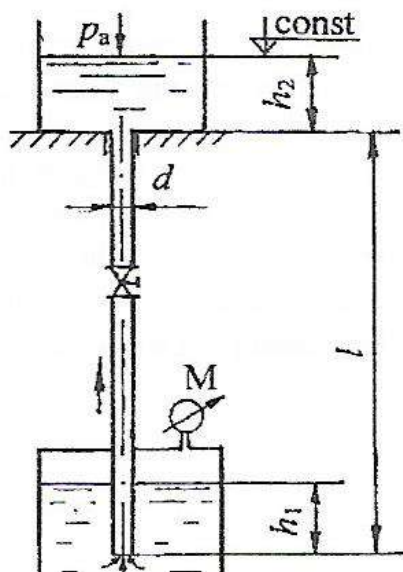


Рис. 4.11.

#### Задача 4.12.

Из нижнего закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности ( $p_{\text{ман}}$ ) вода подаётся в верхний открытый бак по трубе диаметром  $d = 50$  мм, длиной  $l = 4,0$  м (рис. 4.12). Расход воды  $Q = 3,2$  л/с.



Труба водопроводная несколько загрязнённая. В системе установлен вентиль с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{вент}} = 7,0$ . Напоры  $h_1 = h_2$ .

Определить показание манометра ( $p_{\text{ман}}$  в ат), соответствующее избыточному давлению на поверхности воды в нижнем резервуаре.

Рис. 4.12



### Задача 4.13

Определить мощность шестеренного насоса, потребную для перемещения поршня гидроцилиндра диаметром  $D = 50$  мм со штоком диаметром  $d = 16$  мм, если внешняя нагрузка поршня при рабочем ходе  $R$ , скорость рабочего хода  $v = 0,15$  м/с. Рабочая жидкость в системе - масло индустриальное И12. Общая длина гидролиний  $l_1 = 11$  м, диаметр трубопроводов  $d_1 = 10$  мм. Местные потери напора в обратном клапане, распределителе и в фильтре выражаются через относительные эквивалентные длины,  $(l_{\text{экв}}/d) = 50, 40, 60$ .

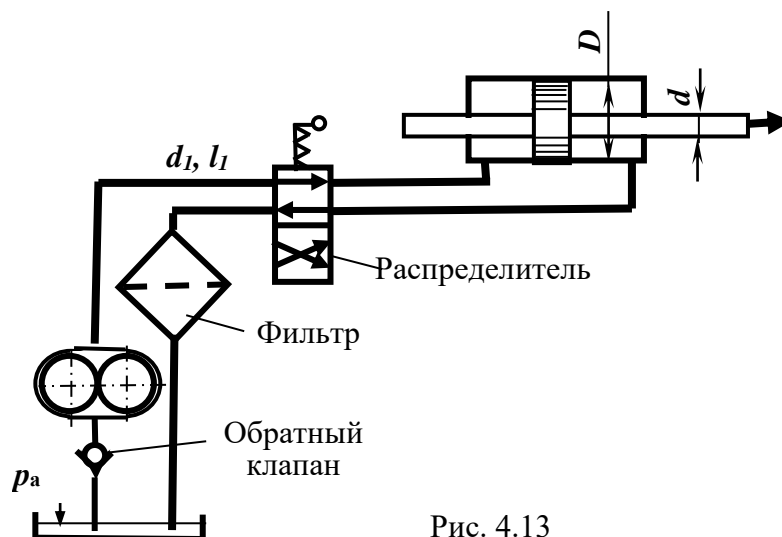


Рис. 4.13

### Задача 4.14.

Из бака с постоянным напором ( $H = \text{const}$ ) вода подаётся в зумпф, уровень воды в котором также постоянный и ниже оси трубы на величину  $h = 2,0$  м (рис. 4.14).

Определить напор воды ( $H$ ) в баке, чтобы расход воды, пропускаемый по трубопроводу диаметром  $d = 100$  мм и длиной  $l = 80$  м, был  $Q = 14,0$  л/с.

Труба водопроводная, чугунная с абсолютной шероховатостью  $\Delta = 1,0$  мм. В системе установлен пробковый кран с углом закрытия  $\alpha = 30^\circ$ .

Плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости воды  $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

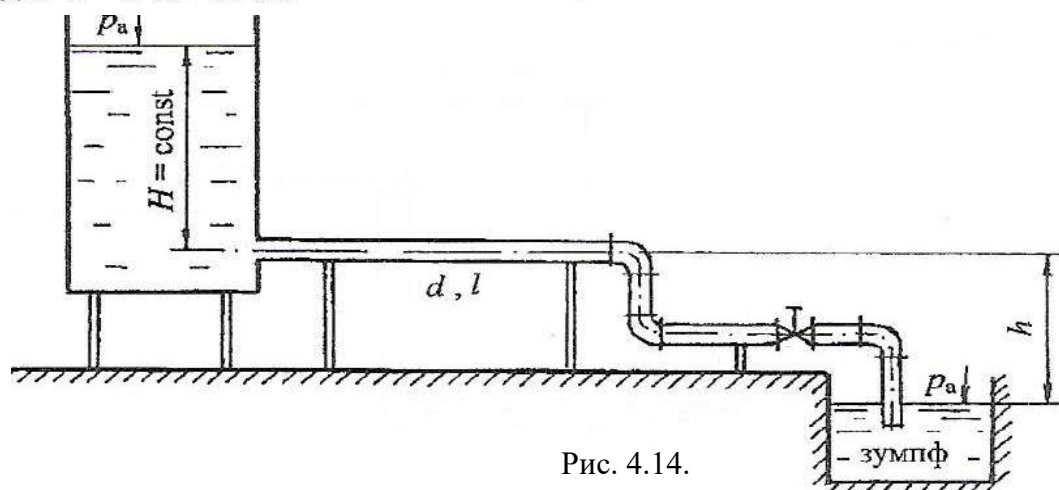


Рис. 4.14.

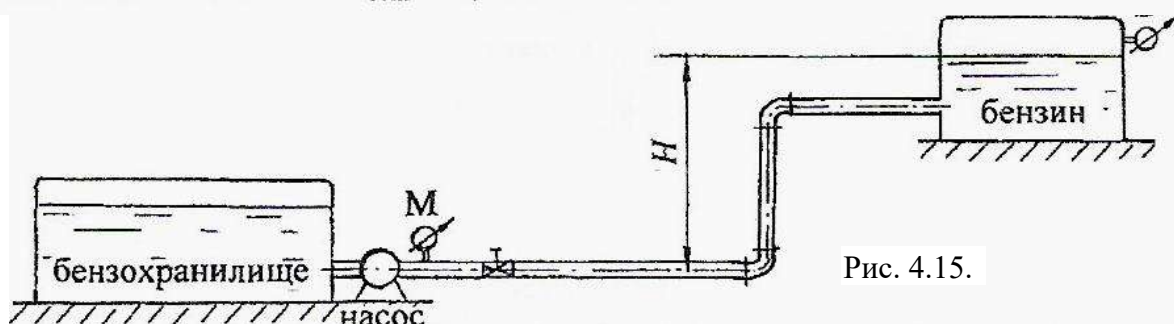


### Задача 4.15.

Бензин из бензохранилища с помощью насоса подаётся в бензобак на высоту  $H = 5,0$  м. На поверхности бензина в бензобаке поддерживается вакуум  $p_{\text{вак}} = 0,16$  ат (рис. 4.15).

Определить, каким должно быть манометрическое давление ( $p_{\text{ман}}$  в ат) на выходе из насоса при подаче  $Q = 2,4$  л/с, если транспортирование бензина происходит по новой стальной трубе с абсолютной шероховатостью  $\Delta = 0,05$  мм, диаметром  $d = 50$  мм, длиной  $l = 30$  м, на трубе установлена задвижка Лудло со степенью закрытия  $a/d = 5/8$ , учесть потери напора в двух коленах и на выходе из трубы в бензобак.

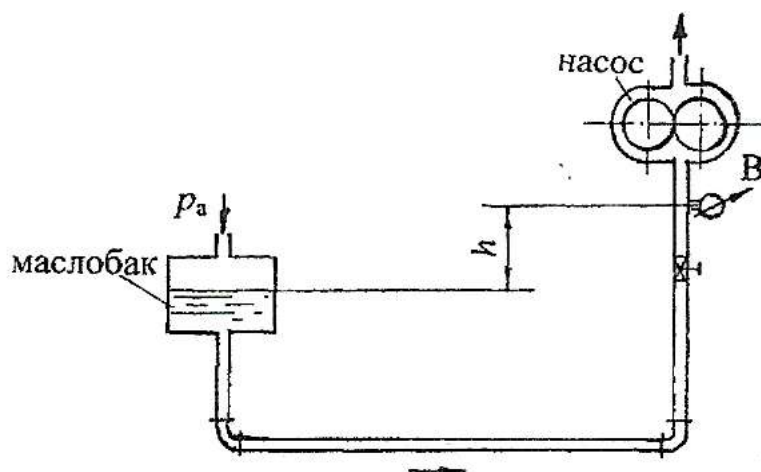
Принять плотность бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости бензина  $\nu_{\text{бенз}} = 0,65 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.



### Задача 4.16.

Определить, на какой высоте ( $h$ ) следует установить шестерёнчатый насос системы смазки, подающий масло “Турбинное 22” при расходе  $Q = 0,6$  л/с по стальной трубе диаметром  $d = 35$  мм и длиной  $l = 2,0$  м. Показание вакуумметра на входе в насос  $p_{\text{вак}} = 0,15$  ат (рис. 4.16).

В системе установлен пробковый кран с углом закрытия  $\alpha = 40^\circ$ . Учесть потери напора в двух коленах при  $\zeta_{\text{кол}} = 0,86$  и на входе в трубу из маслобака  $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$ . Принять плотность масла  $\rho_{\text{масл}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости масла  $\nu_{\text{масл}} = 22 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.



#### Задача 4.17.

Бензин из бензохранилища с помощью насоса подаётся в закрытый бензобак на высоту  $H = 4,2$  м. Показание манометра, установленного после насоса,  $p_{\text{ман}} = 0,31$  ат (рис. 4.17).

Определить показание мановакуумметра ( $p_{\text{м.в.}}$  в ат), измеряющего давление на поверхности бензина в бензобаке, если расход бензина  $Q = 2,5$  л/с. Транспортирование бензина производится по новой стальной трубе диаметром  $d = 50$  мм, длиной  $l = 30,0$  м с абсолютной шероховатостью  $\Delta = 0,06$  мм. На трубе установлен пробковый кран с углом закрытия  $\alpha = 30^\circ$ . Учесть потери напора в трёх коленах и на выходе из трубы в бензобак.

Принять плотность бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости бензина  $\nu_{\text{бенз}} = 0,65 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

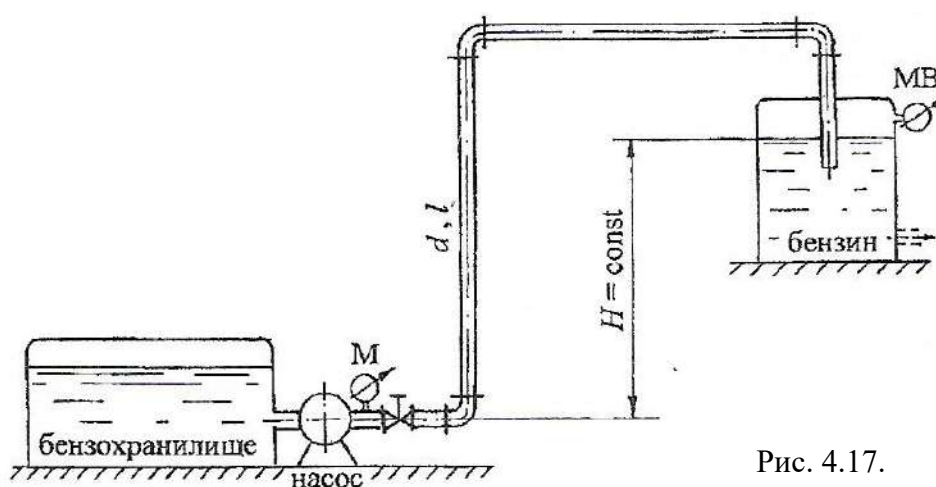


Рис. 4.17.

#### Задача 4.18.

Определить предельную длину трубопровода диаметром  $d = 100$  мм с абсолютной шероховатостью  $\Delta = 0,1$  мм, с помощью которого бензин плотностью  $\rho_{\text{бенз}} = 720$  кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом кинематической вязкости  $\nu_{\text{бенз}} = 0,65 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с может быть поднят на высоту  $H = 15,5$  м при пропускной способности  $Q = 8,0$  л/с, если показание манометра после насоса  $p_{\text{ман}} = 1,2$  ат (рис. 4.18). Истечение бензина происходит под уровень. Учесть потери напора в пробковом кране при угле закрытия  $\alpha = 30^\circ$ , трёх коленах и на выходе из трубы в резервуар больших размеров.

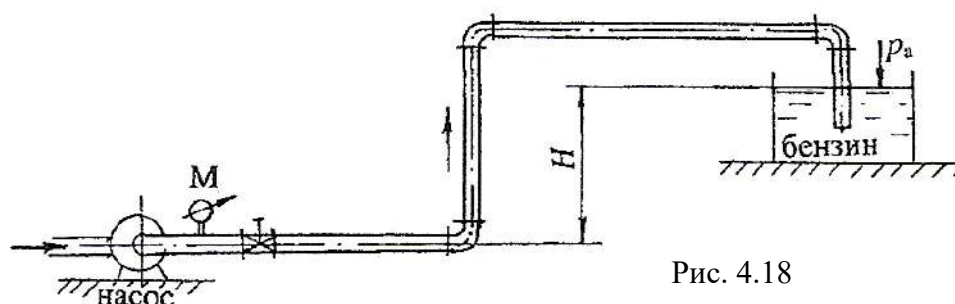


Рис. 4.18



#### Задача 4.19.

Жидкость плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$  с кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu = 3 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  подается из бака по трубе длиной  $l = 10 \text{ м}$  и диаметром  $d = 50 \text{ мм}$  под напором  $H = 1 \text{ м}$ . Определить расход, если показание вакуумметра  $p_{\text{вак}} = 5 \text{ кПа}$ . Коэффициент сопротивления задвижки  $\zeta_{\text{кр}} = 5,5$ , шероховатость трубы  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ . Учесть все местные сопротивления.

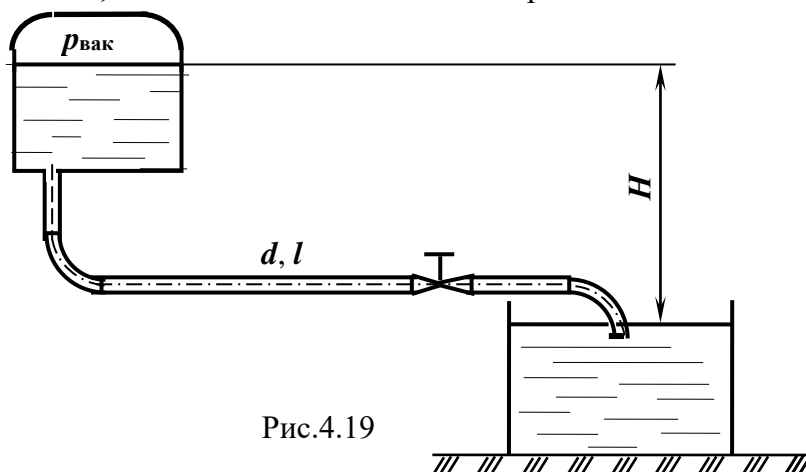


Рис.4.19

#### Задача 4.20.

Сифонный водосброс диаметром  $d = 200 \text{ мм}$  и длиной  $l = 10 \text{ м}$  сбрасывает воду из водохранилища в водоём, уровень которого на  $H = 2,5 \text{ м}$  ниже уровня воды в водохранилище (рис. 4.20).

Определить пропускную способность сифона ( $Q$ , л/с), если труба водопроводная загрязнённая имеет водозаборную сетку с обратным клапаном, два колена: одно с углом закругления  $\alpha_1 = 90^\circ$  и отношением  $r/R = 0,5$ ; второе без закругления с углом  $\alpha_2 = 60^\circ$ ; вентиль с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{вент}} = 5,0$  и выход из трубы в резервуар больших размеров. Рассчитать, каким должен быть вакуум ( $p_{\text{вак}}$  в ат.) в конце горизонтального участка сифона, если длина трубы до этого сечения  $l_1 = 4,0 \text{ м}$ , высота сифона  $h_{\text{сиф}} = 1,5 \text{ м}$ .

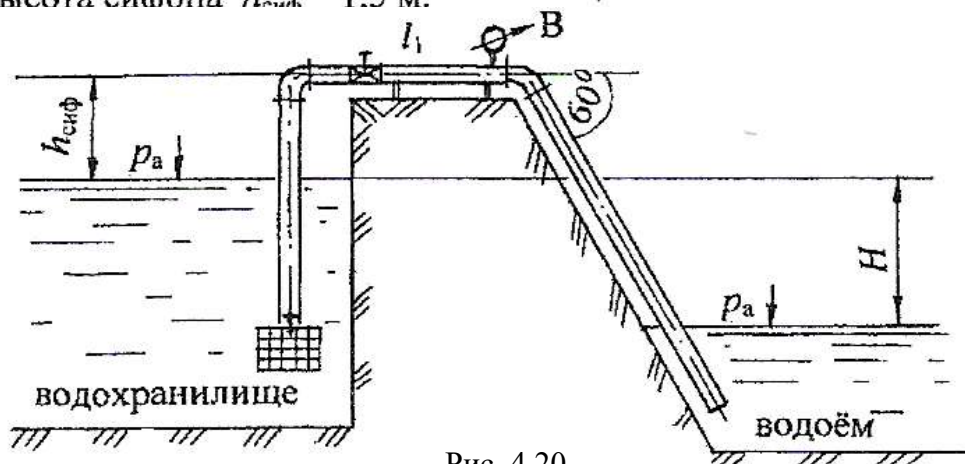


Рис. 4.20

### Задача 4.21.

Из напорного бака по стальной трубе длиной  $l = 30,0$  м, диаметром  $d = 50$  мм с абсолютной шероховатостью  $\Delta = 0,15$  мм бензин подаётся в открытый резервуар (рис. 4.21). Транспортирование производится при постоянном напоре  $H = 5,0$  м. На поверхности бензина в баке действует вакуумметрическое давление ( $p_{\text{вак}}$ ). Пропускная способность системы  $Q = 2,5$  л/с. На трубопроводе установлен вентиль с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{вент}} = 8,0$ .

Определить величину вакуума ( $p_{\text{вак}}$ ) в бензобаке. Принять плотность бензина  $\rho_{\text{бенз}} = 750$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости бензина  $\nu_{\text{бенз}} = 0,9 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

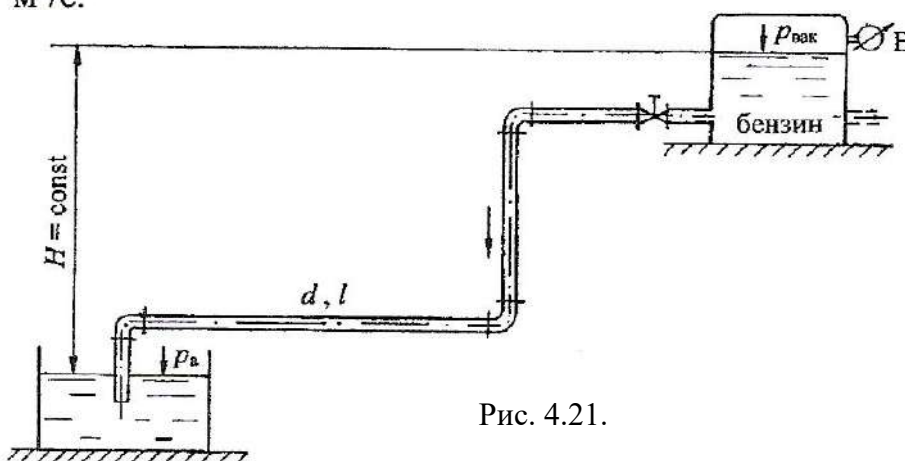


Рис. 4.21.

### Задача 4.22.

Из закрытого резервуара с избыточным давлением на поверхности масла, соответствующим показанию манометра  $p_{\text{ман}} = 0,11$  ат, трансформаторное масло подаётся в открытый отстойник по трубе диаметром  $d = 50$  мм и длиной  $l = 60,0$  м. На трубе установлен пробковый кран с углом закрытия  $\alpha = 30^\circ$  (рис. 4.22).

Определить, какой должна быть разность уровней масла в баке и отстойнике ( $H$ ) для обеспечения пропускной способности трубопровода  $Q = 2,5$  л/с.

Принять плотность масла  $\rho_{\text{масл}} = 884$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости масла  $\nu_{\text{масл}} = 30 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

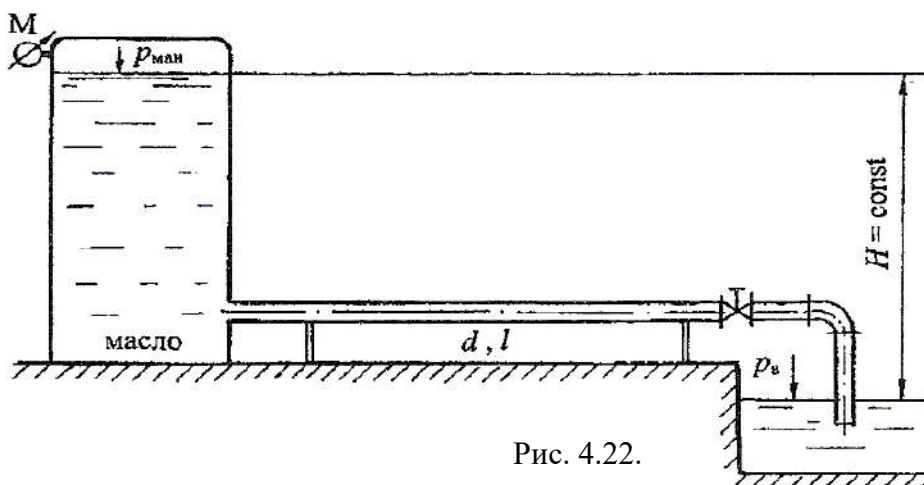


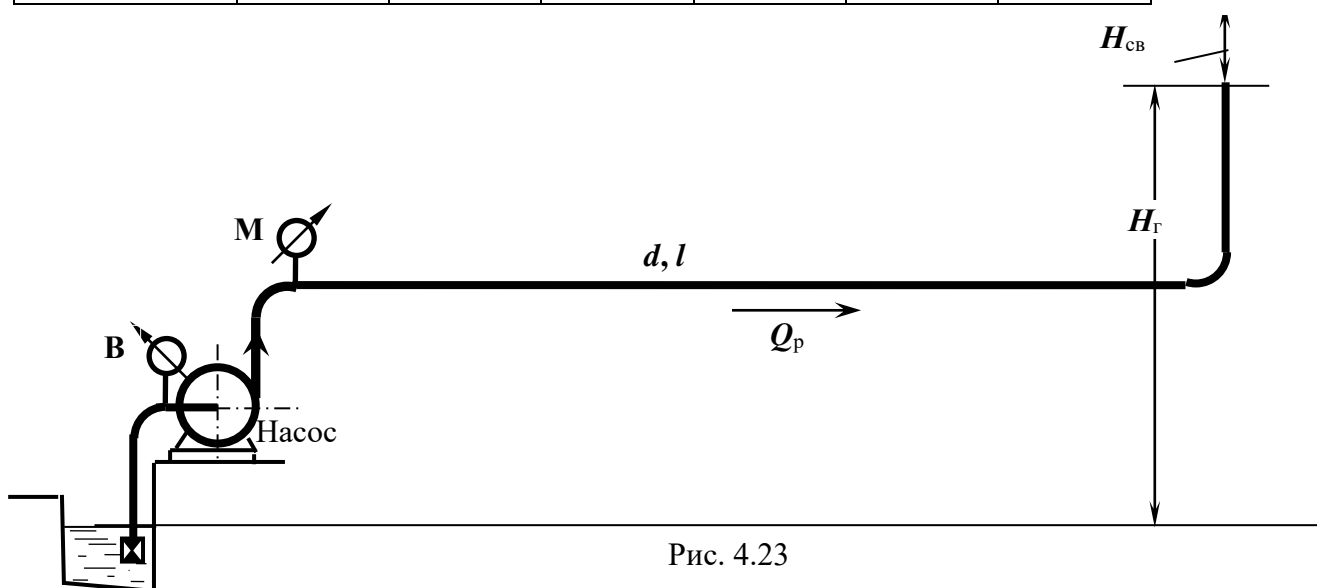
Рис. 4.22.

### Задача 4.23.

Определить подачу  $Q_p$  и напор  $H_p$  для *рабочей точки* насосной установки, состоящей из насоса К 90/85 и трубопровода длиной  $l = 1400$  м и диаметром  $d = 200$  мм, снабженного задвижкой с коэффициентом сопротивления  $\zeta_3 = 6,5$ . Необходимая высота подъема воды  $H_T = 45$  м, а свободный напор у потребителя  $H_{св} = 20$  м. Трубопровод работает в зоне квадратичных сопротивлений. Коэффициент эквивалентной шероховатости  $\Delta = 0,9$  мм.

Данные для построения характеристики насоса:

Характеристика насоса К 90/85	$Q, \text{л/с}$	0	10	20	30	40
	$H, \text{м}$	100	110	105	90	65



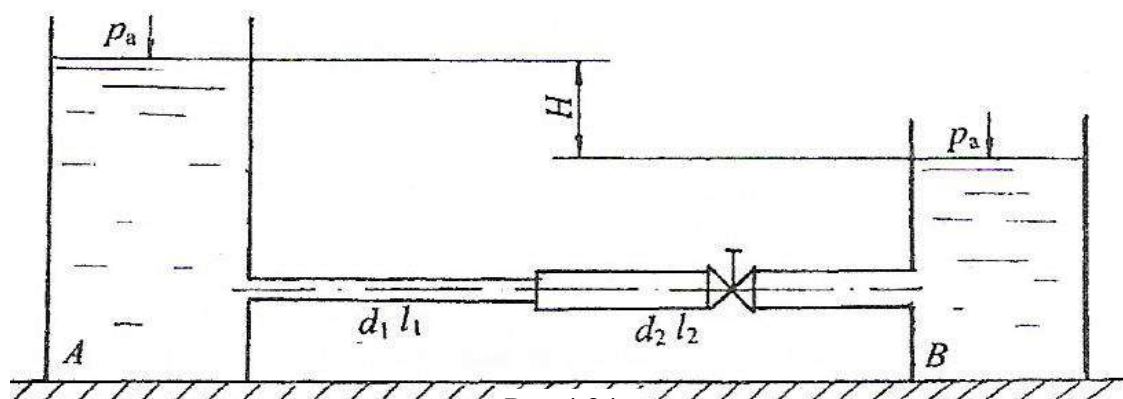
### Задача 4. 24.

Из резервуара  $A$  в резервуар  $B$  при постоянном напоре ( $H$ ) с расходом  $Q = 4,3$  л/с вода подаётся по двум трубам  $d_1 = 50$  мм, длиной  $l_1 = 15$  м и  $d_2 = 100$  мм,  $l_2 = 30$  м (рис. 4.24. ).

Трубы стальные умеренно заржавевшие с эквивалентной шероховатостью  $\Delta_1 = \Delta_2 = 0,5$  мм. На середине трубы диаметром  $d_2$  установлена задвижка Лудло со степенью закрытия  $a/d = 3/4$ .

Учесть все местные сопротивления.

Принять коэффициент кинематической вязкости воды  $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .





#### Задача 4. 25.

Поршень диаметром  $D = 200$  мм движется равномерно вверх в цилиндре, засасывая воду из открытого водоёма с постоянным уровнем по трубопроводу диаметром  $d = 50$  мм и длиной  $l = 12$  м (рис. 4.25). Труба водопроводная нормальная имеет два колена, вход в трубу с острыми кромками и выход воды под уровень. Когда поршень находится выше уровня воды в водоёме на высоте  $h = 2$  м, необходимая сила для его перемещения  $F = 2,4$  кН.

Определить скорость подъёма поршня ( $v_n$ ) и найти, до какой высоты  $h_{\max}$  его можно поднимать с такой скоростью без опасности отрыва от него жидкости, если давление насыщенных паров  $p_{\text{н.п.}} = 4,25$  кПа. Давление насыщенных паров учитывать как абсолютное давление под поршнем. Массой поршня, трением его о стенки и потерями напора в цилиндре можно пренебречь.

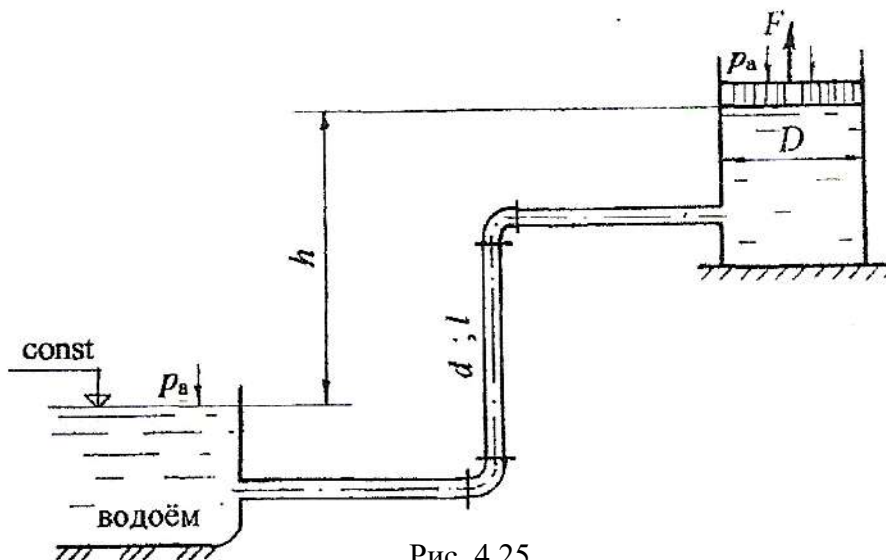


Рис. 4.25.



**ТЕМА 5.**  
**Основы гидравлического расчета сложных трубопроводов**

## Методические рекомендации по решению задач Основы гидравлического расчета сложных трубопроводных систем

В сложных системах трубопроводы на отдельных участках чаще всего бывают длинными. В этих случаях основными являются потери напора по длине. Местные потери напора при этом могут отдельно не рассчитываться, а учитываться как часть потерь по длине. Например,

$$\Sigma h_r = (10 \div 15) \% h_l,$$

тогда 
$$h_w = \Sigma h_r + h_l = (1,1 \div 1,15) h_l.$$

Коэффициент выбирается в соответствии с условием задачи.

Как правило, для определения потерь напора по длине участка используют обобщенные параметры, например – **удельное сопротивление  $A$**  (сопротивление единицы длины):

$$h_l = A Q^2 l.$$

где

$$A = \frac{8\lambda}{\pi^2 g d^5}.$$

Для квадратичной области сопротивления можно использовать значение  $A$  из табл. 8 Приложения.

Кроме удельного сопротивления используется параметр, называемый *полным сопротивлением* трубопровода

$$a = A l,$$

$l$  – длина трубопровода (полная или приведенная расчетная с учетом эквивалентных длин, заменяющих местные сопротивления).

Произведение  $A Q^2 = I$  – это *гидравлический уклон*, т. е. потери напора на единице длины.

При решении задачи уместно воспользоваться уравнением Бернулли для энергетического анализа и на его основе составить уравнения для определения неизвестного параметра.

Важно помнить особенности расчета потерь напора в основных типах трубопроводных систем.

При последовательном соединении участков потери напора в системе – это сумма потерь напора на отдельных участках

В кольцевых и тупиковых системах в узловых точках для всех участков (сколько бы их не было) величина напора одинакова. При наличии параллельного соединения величина потерь напора на всех участках одинакова и в системе учитывается только по одному участку. В тупиковых системах при определении величины необходимого напора в узловой точке к расчету принимается участок с максимальными потерями напора.

### Задача 5.1.

Из водонапорной башни  $A$  по трём последовательно соединённым трубам вода поступает в напорный бак  $D$  с отметкой горизонта воды 12,0 м. Расход воды в системе  $Q = 18,4$  л/с. Диаметры и длины участков трубопровода:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 600$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 500$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 400$  м. Система работает при постоянном напоре (рис. 5.1).

Определить отметку горизонта воды в водонапорной башне ( $H_{\text{башни}}$ ), а также напоры в пунктах  $B$  ( $H_B$ ) и  $C$  ( $H_C$ ). Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине.

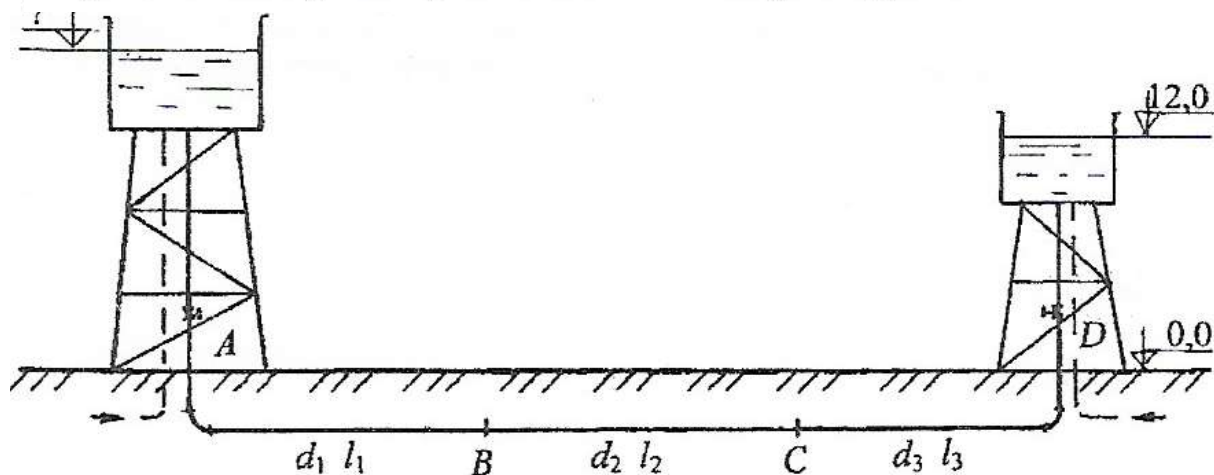


Рис.5.1

### Задача 5.2.

Тупиковая система, представленная в плане, предназначена для снабжения водой четырёх потребителей -  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Расходы потребителей:  $Q_A = 16$  л/с;  $Q_B = 14$  л/с;  $Q_C = 12$  л/с;  $Q_D = 8$  л/с (рис. 5.2).

Рассчитать диаметры труб на каждом участке при условии, что средняя скорость в трубах не должна превышать  $v_{\text{ср}} = 1,2$  м/с. Определить высоту водонапорной башни  $H$ , если остаточные напоры у потребителей должны быть не менее 10 м ( $h_{\text{ост}} \geq 10$  м).

Длины участков сети:  $l_1 = 700$  м;  $l_2 = 400$  м;  $l_3 = 600$  м;  $l_4 = 350$  м. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине. Построить в аксонометрии пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

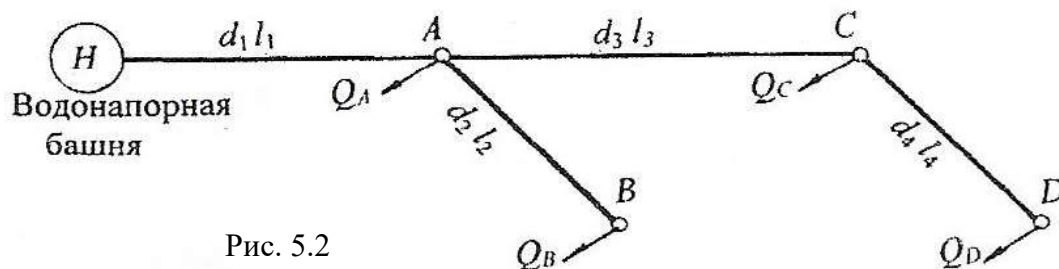


Рис. 5.2

### Задача 5.3.

От водонапорной башни  $A$  вода подаётся потребителю  $D$ . Водопроводная система включает параллельное соединение труб на участке  $BC$  (см. рис. 5.3).

Определить расход ( $Q$ ) в системе, а также распределение расхода в параллельных участках ( $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4$ ). Действующий напор водонапорной башни  $H = 19,0$  м.

Диаметры и длины участков сети:  $d_1 = 250$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 450$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 420$  м;  $d_4 = 150$  мм,  $l_4 = 550$  м;  $d_5 = 200$  мм,  $l_5 = 400$  м. Трубы водопроводные нормальные. Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине.

Построить пьезометрическую линию и эшюру потерь напора.

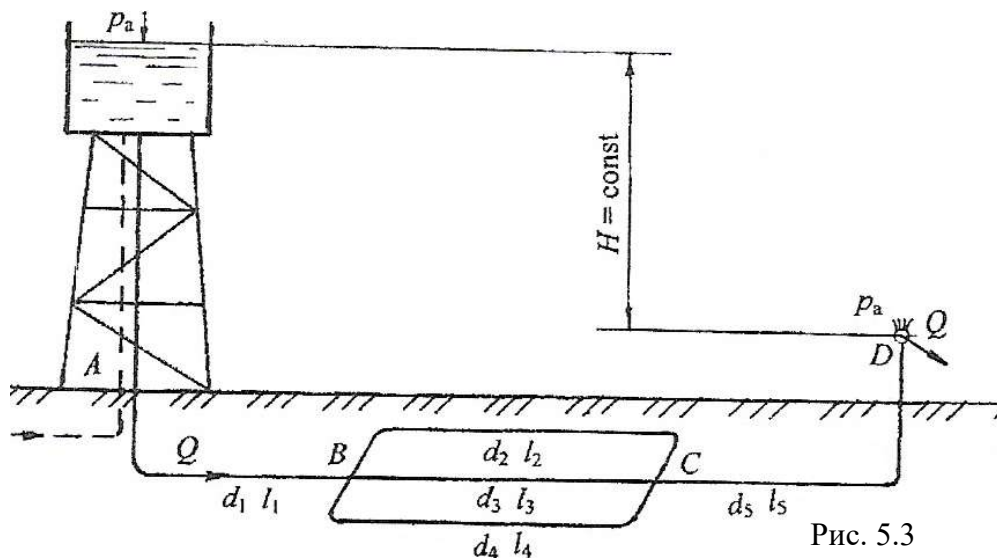


Рис. 5.3

### Задача 5.4.

От насосной установки по двум трубам  $d_1 = 250$  мм,  $l_1 = 600$  м и  $d_2 = 200$  мм,  $l_2 = 400$  м вода подаётся двум потребителям -  $A$  и  $B$  - с расходами  $Q_A = 30,0$  л/с;  $Q_B = 10,0$  л/с. На втором участке предусмотрена равномерная раздача воды с путевым расходом  $Q_{\text{пут}} = 20,0$  л/с (рис. 5.4).

Определить остаточные напоры у потребителей  $A$  и  $B$ , если показание манометра, установленного после насоса,  $p_{\text{ман}} = 2,0$  ат.

Трубы водопроводные нормальные. Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию.

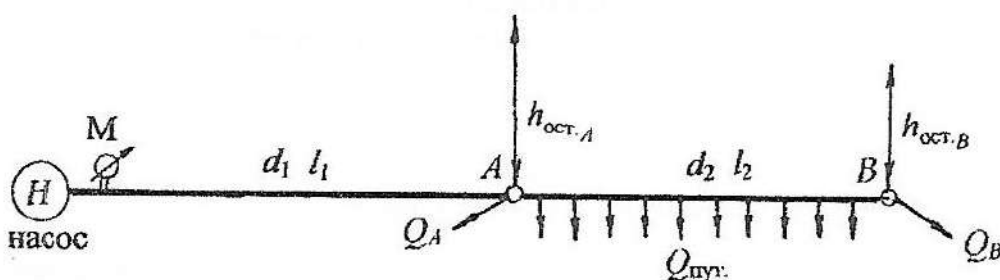


Рис. 5.4



### Задача 5.5.

Из водонапорной башни с постоянной отметкой уровня воды при  $H_{\text{башни}} = 24$  м, по трубопроводной системе вода подаётся четырём потребителям -  $A, B, C$  и  $D$  - на отметку  $H = 12,0$  м (см. рис. 5.5).

Определить, какой расход подаётся каждому потребителю ( $Q_A, Q_B, Q_C, Q_D$ ), если отметки пьезометрической линии в узловых точках:  $H_A = 20,9$  м;  $H_B = 18,7$  м;  $H_C = 15,0$  м. Диаметры и длины участков труб:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 400$  м;  $d_2 = 200$  мм,  $l_2 = 450$  м;  $d_3 = 150$  мм,  $l_3 = 350$  м;  $d_4 = 125$  мм,  $l_4 = 300$  м.

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь по длине. Показать распределение пьезометрического напора и эшору потерь напора для системы.

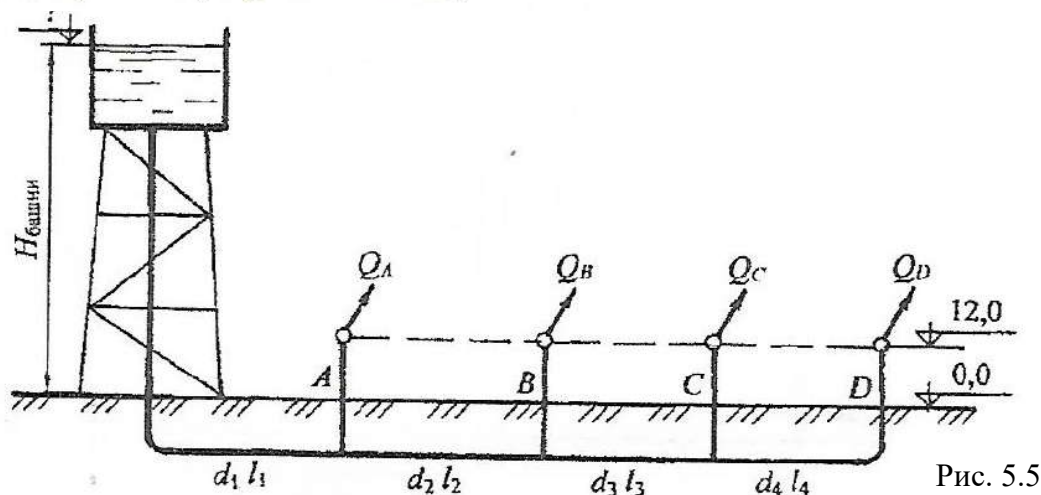


Рис. 5.5

### Задача 5.6.

Система водоснабжения, представленная в плане на рис. 5.6), имеет три потребителя -  $A, B$  и  $C$ . Определить расходы воды у потребителей ( $Q_A, Q_B, Q_C$  в л/с), если свободные (остаточные) напоры у потребителей:  $h_A = 20,0$  м;  $h_B = 14,0$  м;  $h_C = 15,0$  м. Показание манометра, установленного после насоса,  $p_{\text{ман}} = 2,7$  ат. Потребители расположены на одном горизонте.

Диаметры и длины участков сети:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 600$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 500$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 400$  м. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине. Построить в аксонометрии пьезометрическую линию.

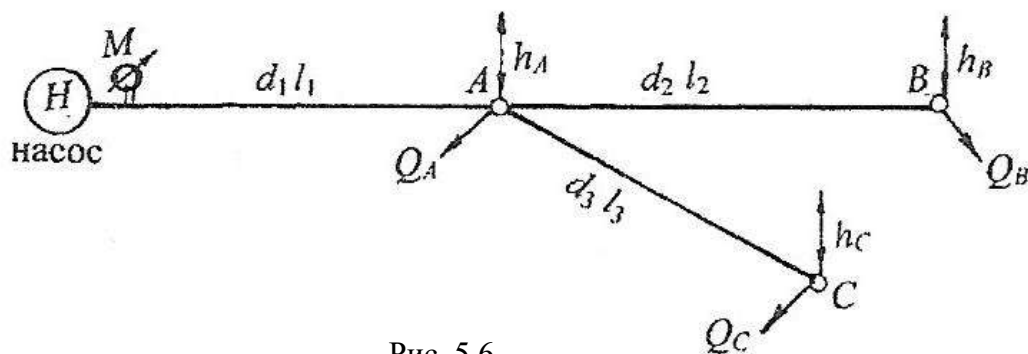


Рис. 5.6



### Задача 5.7.

Водонапорная башня  $A$  с отметкой  $22,0$  м питает два потребителя -  $B$  и  $C$  - через систему двух последовательно соединённых труб. Пьезометрический напор в конце первого участка  $h_p = 15,0$  м (рис. 5.7).

Определить расход воды на первом участке ( $Q_1$ ) и расход потребителя  $C$  ( $Q_C$ ), а также отметку потребителя  $C$ . Принять расход потребителя  $B$ :  $Q_B = 10$  л/с.

Диаметры и длины участков водопроводной системы:  $d_1 = 150$  мм,  $l_1 = 600$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 500$  м. Трубы водопроводные нормальные. Местные потери напора принять равными  $5\%$  от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

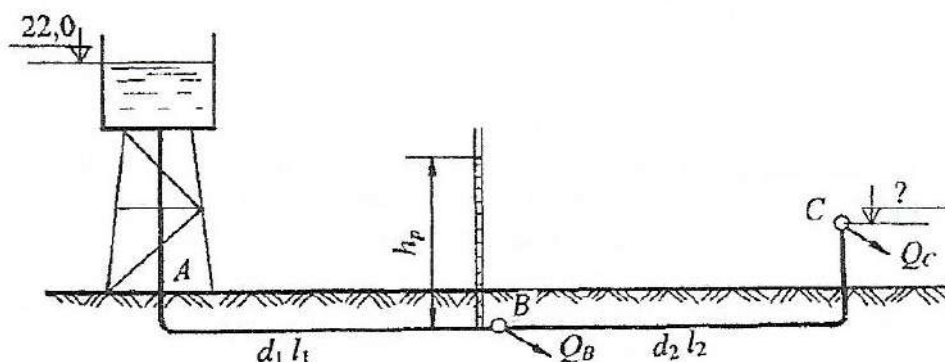


Рис. 5.7

### Задача 5.8.

От насосной установки по трубопроводной системе с параллельным соединением труб вода подаётся двум потребителям -  $A$  и  $B$  - с расходами  $Q_A = 10,0$  л/с и  $Q_B = 12,0$  л/с (рис. 5.8). Длины и диаметры участков системы:  $d_1 = 100$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 700$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 600$  м. Высота подъёма воды у потребителя  $B$  относительно магистрального трубопровода  $H_B = 8$  м.

Определить распределение расходов в параллельных участках труб ( $Q_1$  и  $Q_2$ ), а также показание манометра, установленного после насоса ( $p_{\text{ман}}$ ). Местные сопротивления принять равными  $5\%$  от потерь по длине. Потери напора на участке от насоса до узла разветвления труб не учитывать. Трубы водопроводные нормальные уложены на одном горизонте.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора

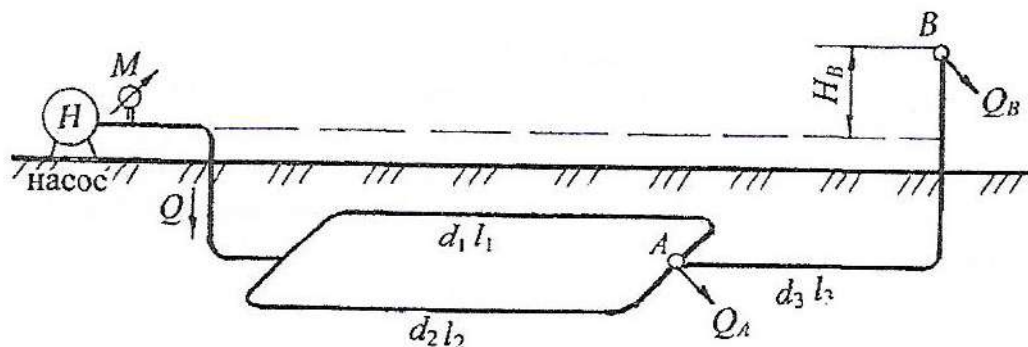


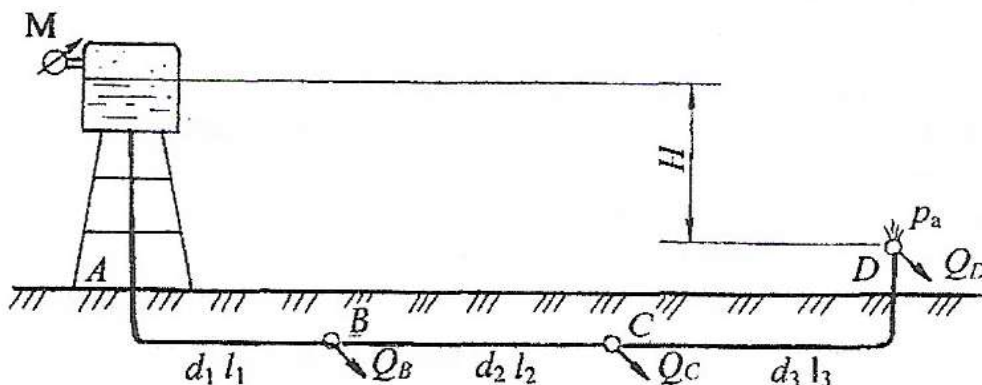
Рис. 5.8

### Задача 5.9.

Из водонапорного бака  $A$  с избыточным давлением на поверхности  $p_{\text{ман}} = 19,6 \text{ кПа}$  по трём последовательно соединённым трубам вода подаётся потребителям  $B$ ,  $C$  и  $D$  с одинаковыми расходами:  $Q_B = Q_C = Q_D = Q$ . У потребителя  $D$  - выход воды в атмосферу (рис. 5.9).

Определить расход воды на каждом участке трубы, диаметры и длины участков соответственно:  $d_1 = 200 \text{ мм}$ ,  $l_1 = 600 \text{ м}$ ;  $d_2 = 150 \text{ мм}$ ,  $l_2 = 500 \text{ м}$ ;  $d_3 = 125 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 400 \text{ м}$ .

Действующий напор  $H = 15 \text{ м}$  считать постоянным. Трубы водопроводные нормальные. Местные потери принять равными 10 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию и эюру потерь напора.



### Задача 5.10.

Рис. 5.9

Два потребителя -  $B$  и  $C$  - с расходами:  $Q_B = 20 \text{ л/с}$  и  $Q_C = 15 \text{ л/с}$  - питаются от насосной установки. Отметки, на которые надо поднять воду у потребителей:  $h_B = 12,0 \text{ м}$ ;  $h_C = 10,0 \text{ м}$  (рис. 5.27). Диаметры и длины трубопроводов:  $l_1 = 600 \text{ м}$ ;  $d_2 = 150 \text{ мм}$ ,  $l_2 = 500 \text{ м}$ ;  $d_3 = 125 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 400 \text{ м}$ .

Определить расход воды на магистральном участке ( $Q_1$ ), рассчитать диаметр трубы первого участка ( $d_1$ ) при условии, что эксплуатационная скорость не должна превышать  $1,2 \text{ м/с}$  ( $v_{\text{эк}} \leq 1,2 \text{ м/с}$ ).

Рассчитать показание манометра ( $p_{\text{ман}}$ ), установленного после насоса. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь по длине.

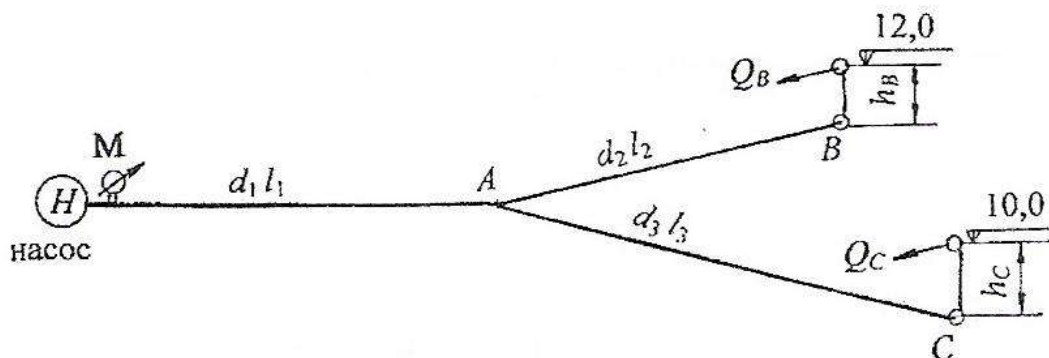


Рис. 5.10



### Задача 5.11.

От насосной установки вода подаётся двум потребителям -  $A$  и  $B$  - с расходами  $Q_A = 15,0$  л/с,  $Q_B = 20,0$  л/с. У потребителя  $B$  вода подаётся на высоту 12,0 м (рис. 5.11).

Определить показание манометров после насоса ( $p_{\text{ман}}$ ) и на середине второго участка ( $p_{\text{ман1}}$ ). Диаметры и длины участков:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 700$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 600$  м.

Трубы водопроводные нормальные. Местные потери принять равными 5 % от потерь напора по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

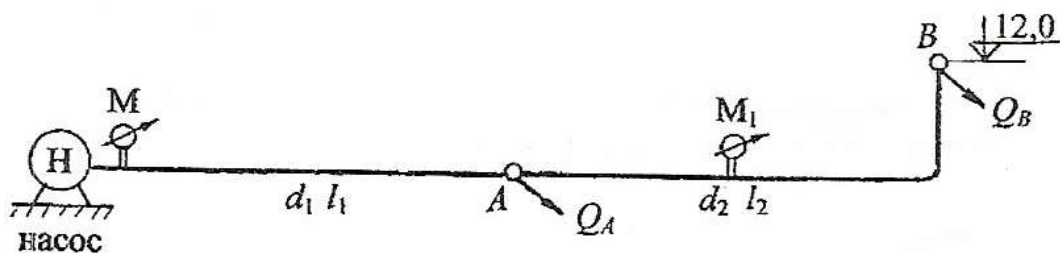


Рис. 5.11

### Задача 5.12.

Из водонапорной башни  $A$  вода поступает потребителю  $D$  система включает параллельное соединение труб на участке  $BC$  (рис. 5.12).

Определить действующий напор ( $H$ ), а также распределение расхода в параллельных участках ( $Q_2, Q_3, Q_4$ ), если общий расход  $Q = 52,0$  л/с.

Диаметры и длины участков сети:  $d_1 = 250$  мм,  $l_1 = 400$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 500$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 450$  м;  $d_4 = 150$  мм,  $l_4 = 550$  м;  $d_5 = 200$  мм,  $l_5 = 350$  м. Трубы водопроводные нормальные. Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине.

Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

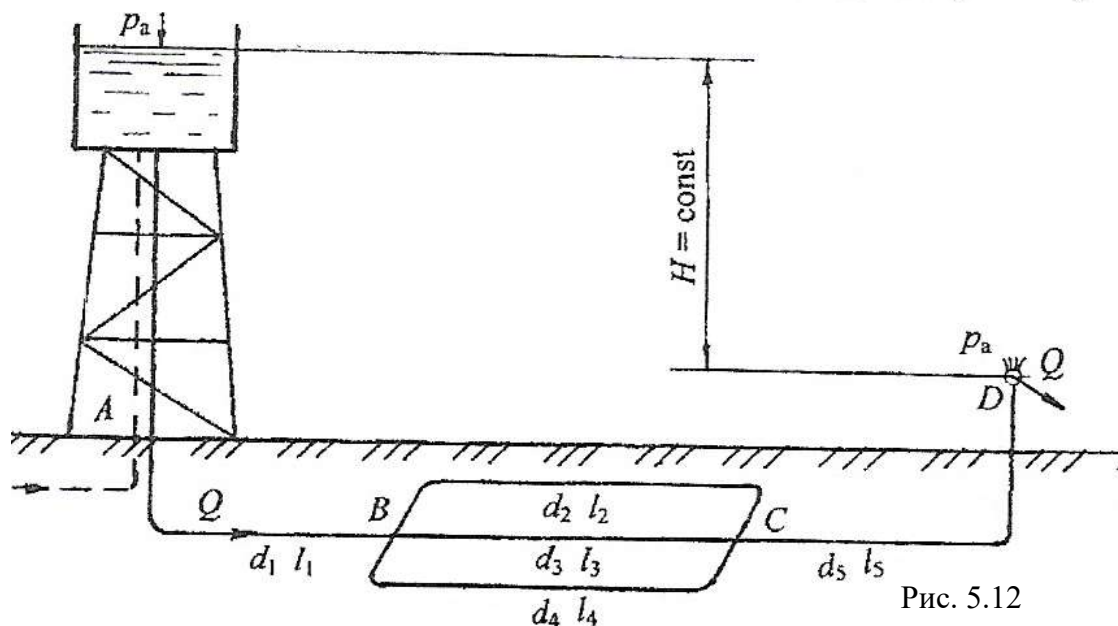


Рис. 5.12

### Задача 5.13.

Из водонапорной башни по трубопроводам вода поступает четырём потребителям -  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  - на отметку 12,0 м. Расходы потребителей составляют:  $Q_A = 6,0$  л/с;  $Q_B = Q_C = 8,0$  л/с;  $Q_D = 10,0$  л/с (рис. 5.13).

Определить отметку уровня воды в водонапорной башне ( $H_{\text{башни}}$ ), считая её постоянной. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора, показать отметки пьезометрических напоров в узловых точках  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Диаметры и длины участков труб:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 400$  м;  $d_2 = 200$  мм,  $l_2 = 450$  м;  $d_3 = 150$  мм,  $l_3 = 350$  м;  $d_4 = 125$  мм,  $l_4 = 300$  м. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь по длине.

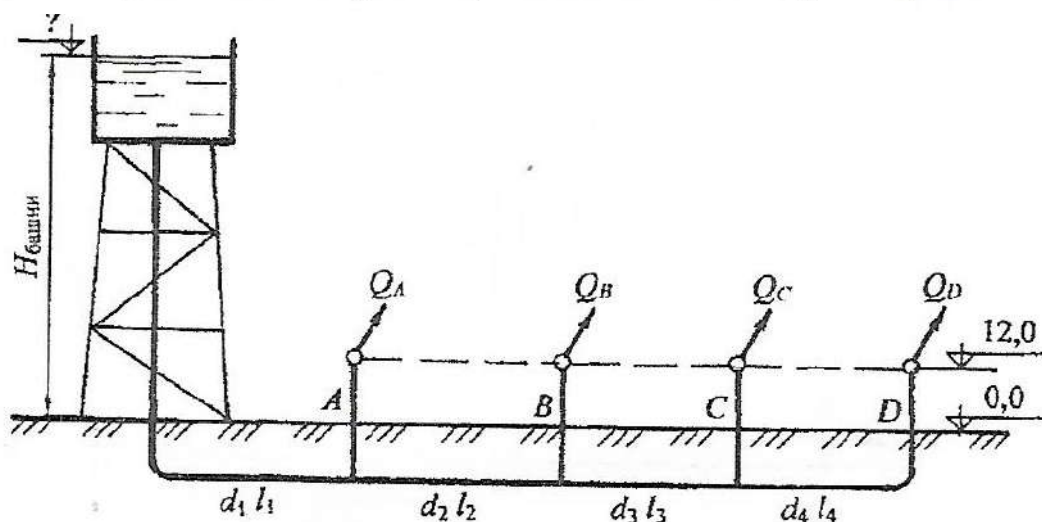


Рис. 5.13

### Задача 5.14.

Из водонапорной башни  $A$  обеспечиваются водой три потребителя - в точках  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Пропускная способность первого участка  $Q_1 = 30$  л/с; расходы потребителей:  $Q_B = 12$  л/с;  $Q_C = 10$  л/с (рис. 5.14).

Определить расход потребителя  $D$  ( $Q_D$ , л/с), а также отметку горизонта воды в водонапорной башне, если остаточный напор у потребителя  $D$  ( $h_{\text{ост}D}$ ) должен быть не менее 10 м. Принять диаметры и длины участков труб:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 600$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 500$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 400$  м.

Трубы водопроводные нормальные, местные сопротивления составляют 10 % от потерь по длине. Построить пьезометрическую линию, показать эпюру потерь напора.

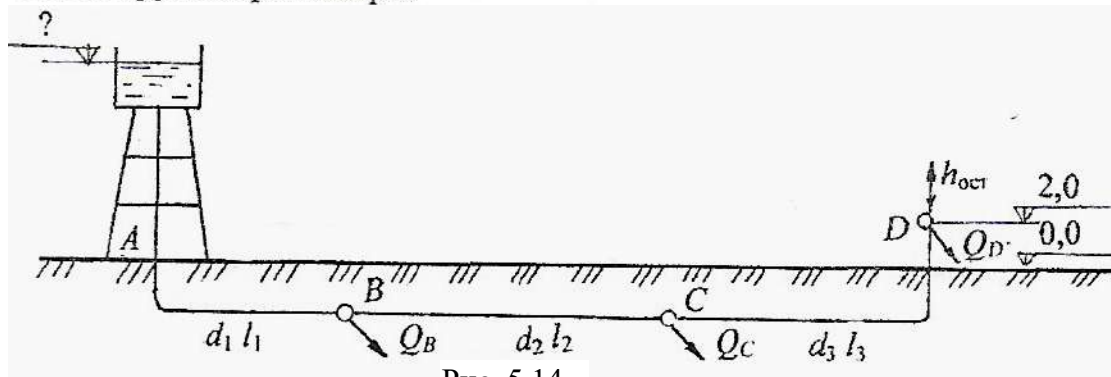


Рис. 5.14



### Задача 5.15.

Тупиковая водопроводная система, представленная в плане на рис. 5.15), состоит из насосной установки, подающей воду четырём потребителям -  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  - с расходами:  $Q_A = 10$  л/с;  $Q_B = 15$  л/с;  $Q_C = 12$  л/с;  $Q_D = 13$  л/с.

Рассчитать диаметры труб на каждом участке при условии, что эксплуатационная скорость  $v_{\text{эк}} \leq 1,2$  м/с. Определить показание манометра, установленного после насоса, если остаточные (свободные) напоры у потребителей должны быть не менее 10 м ( $h_{\text{ост}} \geq 10$  м). Длины участков сети:  $l_1 = 500$  м;  $l_2 = 400$  м;  $l_3 = 600$  м;  $l_4 = 300$  м;  $l_5 = 340$  м.

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

Построить в аксонометрии пьезометрическую линию, показать эшюру потерь напора.

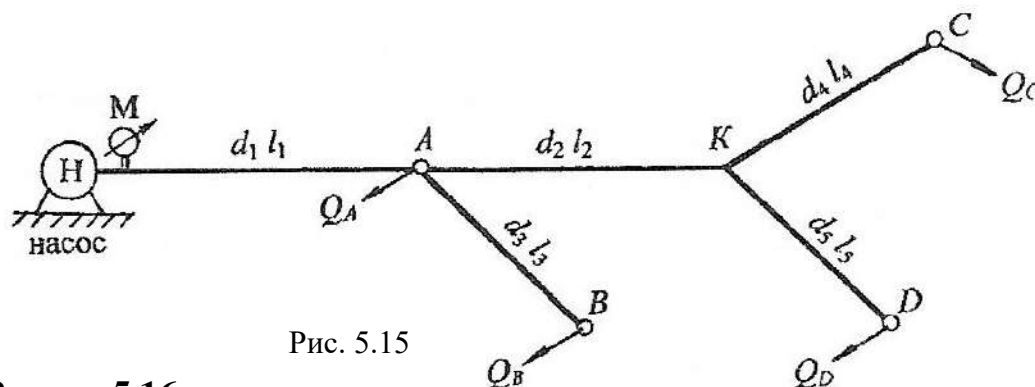


Рис. 5.15

### Задача 5.16.

Из водонапорной башни  $A$  с отметкой уровня горизонта воды 20,0 м вода подаётся потребителям  $B$  и  $C$  с расходами:  $Q_B = 15,0$  л/с;  $Q_C = 10,0$  л/с по трубам:  $d_1 = 150$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 400$  м (рис. 5.16).

Определить отметки в пунктах  $B$  и  $C$ , на уровне которых будут обеспечены заданные расходы. Построить пьезометрическую линию, показать эшюру потерь напора. Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь по длине.

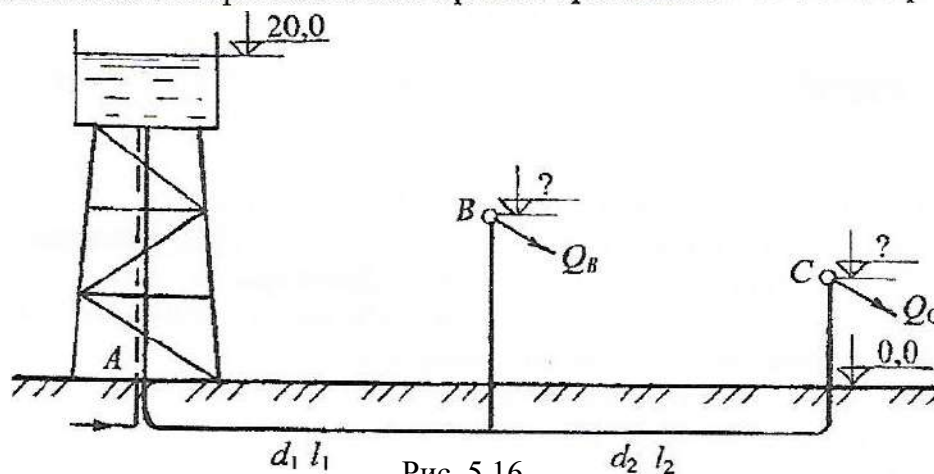


Рис. 5.16



### Задача 5.17.

Из водонапорного бака с избыточным давлением на поверхности ( $p_{\text{ман}}$ ) по трём последовательно соединённым трубам вода подаётся трём потребителям -  $B, C$  и  $D$  (см. рис. 5.17). с расходами:  $Q_B = 13,0$  л/с;  $Q_C = 12,0$  л/с;  $Q_D = 10,0$  л/с. У потребителя  $D$  принять выход воды в атмосферу.

Диаметры и длины участков сети:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 600$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 450$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 400$  м. Действующий напор  $H = 6,5$  м считать постоянным.

Определить, каким должно быть избыточное давление на поверхности воды в баке ( $p_{\text{ман}}$ ) для обеспечения расходов потребителей. Построить пьезометрическую линию с указанием пьезометрических напоров  $H_B$  и  $H_C$  в пунктах  $B$  и  $C$ , показать эпюру потерь напора.

Трубы водопроводные нормальные. Местные потери принять равными 10 % от потерь по длине.

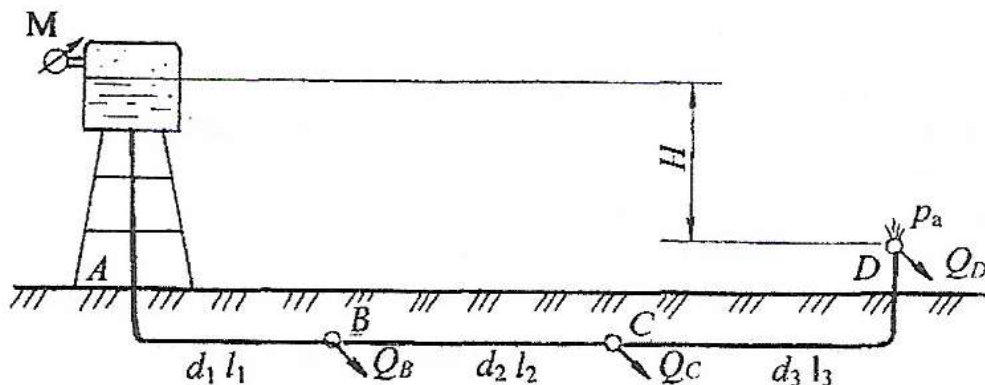


Рис. 5.17

### Задача 5.18.

Из водонапорного бака  $A$  вода по системе труб поступает потребителю  $D$ . Отметка горизонта воды в баке постоянная, равная 18,0 м. На участке  $BC$  трубы закольцованы (рис. 5.18).

Диаметры и длины участков сети:  $d_1 = 150$  мм,  $l_1 = 400$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 450$  м;  $d_3 = 200$  мм,  $l_3 = 500$  м. Трубы водопроводные нормальные. Расход воды на втором участке  $Q_2 = 13,0$  л/с.

Определить расход воды на третьем участке ( $Q_3 = Q_D$ ) и остаточный напор у потребителя  $D$  ( $h_{\text{ост}D}$ ). Потери напора на участке  $AB$  не учитывать. Местные потери напора принять равными 5 % от потерь по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

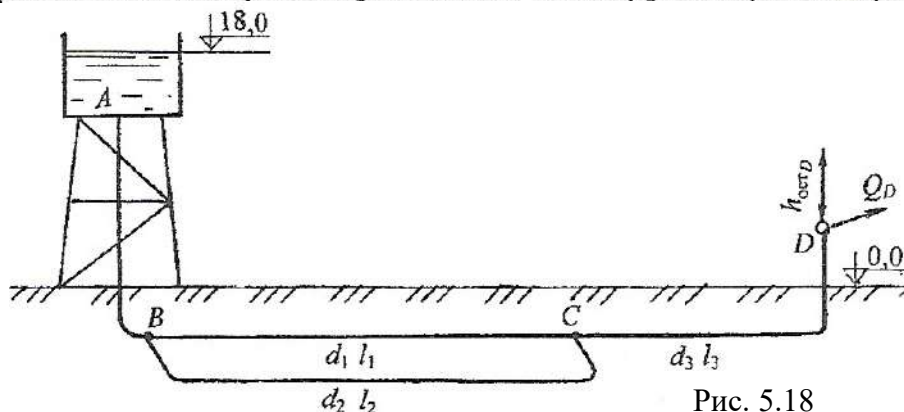


Рис. 5.18

### Задача 5.19.

Насосом вода подается двум потребителям  $A$  и  $C$  с расходами:  $Q_A = 17,0$  л/с и  $Q_C = 21,0$  л/с по системе трубопроводов с параллельным соединением труб на участке  $AB$  (рис. 5.19), уложенных на одном горизонте. Показание манометра в узле  $B$  составляет  $p_{\text{ман1}} = 1,9$  ат.

Диаметры и длины трубопроводов:  $l_1 = 400$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 350$  м;  $d_3 = 100$  мм,  $l_3 = 300$  м;  $d_4 = 125$  мм,  $l_4 = 430$  м;  $l_5 = 450$  м.

Подобрать диаметры труб на первом и пятом участках системы ( $d_1$  и  $d_5$ ) при условии, что эксплуатационная скорость в трубах  $v_{\text{эксп}} \leq 1,2$  м/с.

Определить высоту подъёма воды у потребителя  $C$  ( $H_C$ ) и показание манометра  $M$  ( $p_{\text{ман}}$ ), установленного после насоса.

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

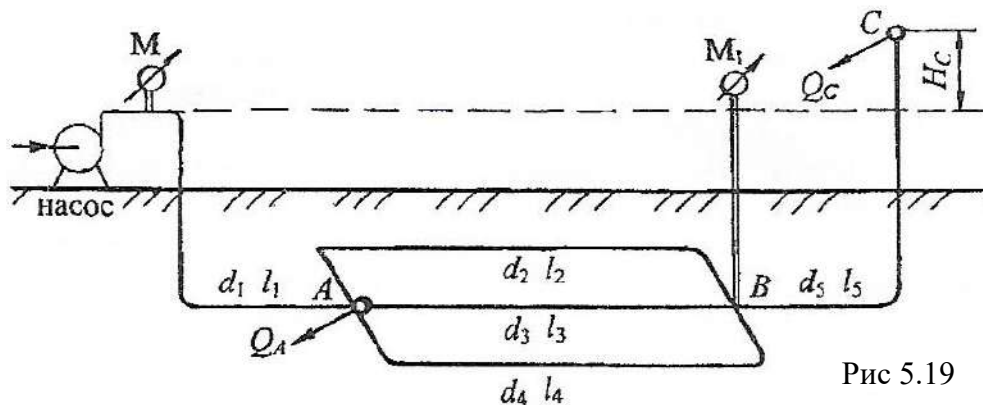


Рис 5.19

### Задача 5.20

Распределительная водопроводная система, представленная в плане на рис. 5.20, состоит из насосной установки, подающей воду четырём потребителям -  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ .

Диаметры и длины участков системы:  $d_1 = 250$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 200$  мм,  $l_2 = 435$  м;  $d_3 = 150$  мм,  $l_3 = 600$  м;  $d_4 = 125$  мм,  $l_4 = 300$  м;  $d_5 = 125$  мм,  $l_5 = 350$  м.

Показание манометра, установленного после насоса,  $p_{\text{ман}} = 2,2$  ат.

Определить расходы воды каждого потребителя, если пьезометрические напоры в узловых точках  $A$  и  $K$ :  $H_A = 19,0$  м;  $H_K = 17,0$  м; остаточные напоры у потребителей -  $B$ ,  $C$  и  $D$ :  $h_{\text{ост}B} = 14,5$  м;  $h_{\text{ост}C} = 13,0$  м;  $h_{\text{ост}D} = 12,0$  м.

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине. Показать распределение пьезометрического напора и эпюру потерь напора в аксонометрии.

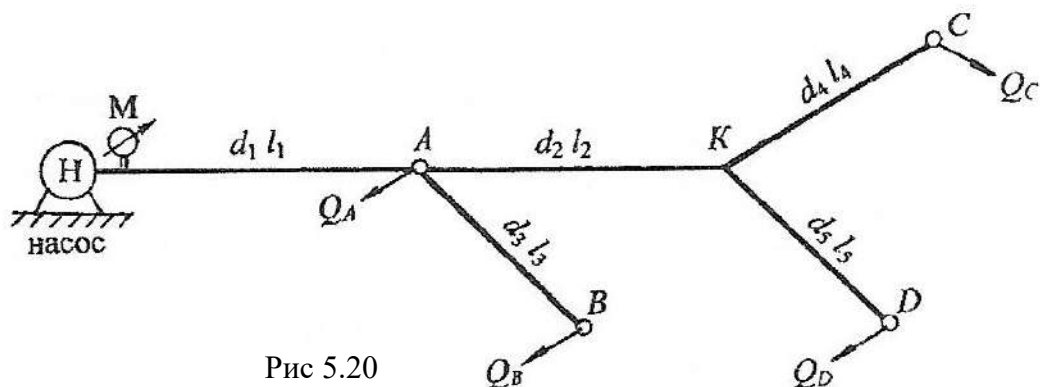


Рис 5.20

### Задача 5.21

Три потребителя -  $A$ ,  $B$  и  $C$  - снабжаются водой из водонапорной башни по системе труб, уложенных на одном горизонте. Потребителю  $A$  отводится расход  $Q_A = 12,0$  л/с; потребителю  $B$  -  $Q_B = 17,0$  л/с. На участке между потребителями  $A$  и  $B$  трубы закольцованы, в узлах отвода воды выведены манометры  $M_1$  и  $M_2$  (рис. 5.21). Показание второго манометра  $p_{\text{ман}2} = 2,2$  ат.

Диаметры и длины участков трубопроводов:  $d_1 = 250$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 200$  мм,  $l_2 = 550$  м;  $d_3 = 150$  мм,  $l_3 = 440$  м;  $d_4 = 150$  мм,  $l_4 = 600$  м.

Определить расход воды, поступающей от водонапорной башни ( $Q$ ), расход потребителя  $C$  ( $Q_C$ ), показание первого манометра ( $p_{\text{ман}1}$ ), а также отметку горизонта воды в напорной башне ( $H_{\text{башни}}$ ).

Отметка потребителя  $C$  равна  $3,0$  м, остаточный напор у потребителя  $C$   $h_{\text{ост}} \geq 10,0$  м.

Трубы водопроводные нормальные, потери напора в местных сопротивлениях принять равными  $10\%$  от потерь напора по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

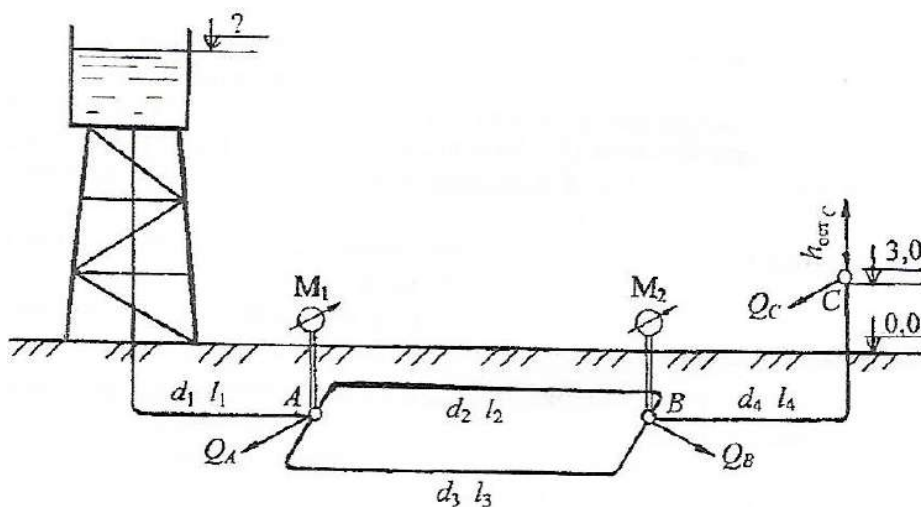


Рис 5.21



### Задача 5.22.

Насос подает воду по системе трубопроводов с параллельным соединением труб на участке  $AB$  (рис. 5.22), уложенных на одном горизонте. при расходе  $Q = 37$  л/с двум потребителям  $A$  и  $C$ . Расход потребителя  $A$  составляет  $Q_A = 16,0$  л/с. Показание манометра после насоса соответствует  $p_{\text{ман}} = 2,4$  ат.

Диаметры и длины трубопроводов:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 450$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 380$  м;  $d_3 = 100$  мм,  $l_3 = 320$  м;  $d_4 = 125$  мм,  $l_4 = 470$  м;  $l_5 = 450$  м.

Определить расход потребителя  $C$  и подобрать диаметр трубы на пятом участке при условии, что эксплуатационная скорость в трубах  $v_{\text{эксп}} \leq 1,2$  м/с.

Найти показание манометра  $M_1$  ( $p_{\text{ман}1}$ ), установленного в узле  $B$ , и высоту подъема воды у потребителя  $C$  ( $H_C$ ).

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине.

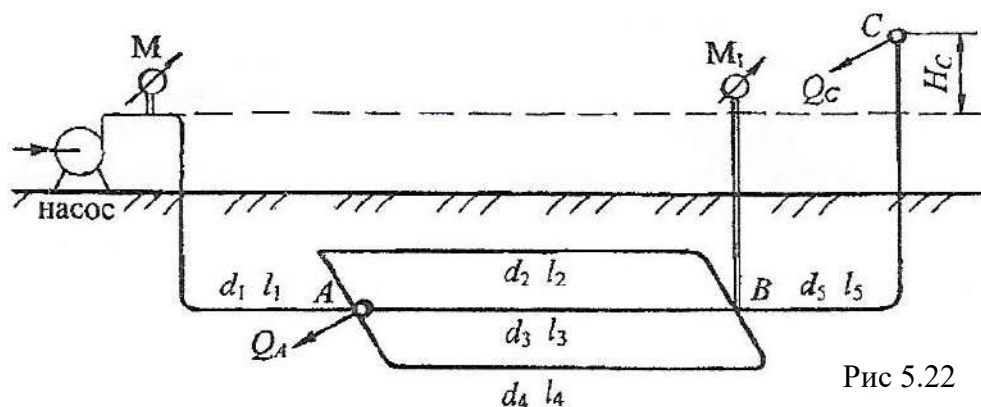


Рис 5.22

### Задача 5.23

Три потребителя -  $A, B$  и  $C$  - снабжаются водой из водонапорной башни с постоянным действующим напором  $H = 24$  м. Расходы потребителей:  $Q_A = 10,0$  л/с;  $Q_B = 12,0$  л/с;  $Q_C = 35,0$  л/с. Трубопроводная система включает параллельное соединение труб на участке  $AB$  (рис. 23).

Диаметры и длины трубопроводов:  $d_1 = 250$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 200$  мм,  $l_2 = 400$  м;  $d_3 = 150$  мм,  $l_3 = 550$  м;  $d_4 = 200$  мм,  $l_4 = 700$  м. Трубы водопроводные нормальные.

Определить пропускную способность второго ( $Q_2$ ) и третьего ( $Q_3$ ) участков, а также остаточный напор у потребителя  $C$  ( $h_{\text{ост}C}$ ).

Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 10 % от потерь напора по длине. Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

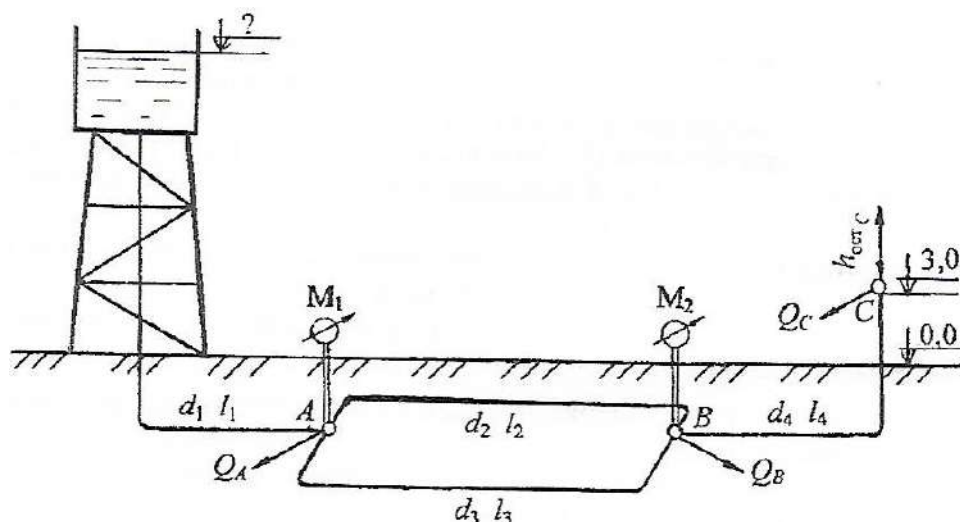


Рис 5.23

### Задача 5.24.

Из водонапорной башни  $A$  с отметкой горизонта воды  $H_A = 24,0$  м вода подаётся в напорный бак  $B$  с отметкой горизонта воды  $H_B = 12,0$  м. Система трубопроводов имеет закольцованный участок  $CD$ . В узлах разветвления  $C$  и  $D$  выведены манометры  $M_1$  и  $M_2$  (рис. 5.24). Диаметры и длины участков трубопроводов:  $d_1 = 200$  мм,  $l_1 = 450$  м;  $d_2 = 150$  мм,  $l_2 = 400$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 360$  м;  $d_4 = 150$  мм,  $l_4 = 300$  м. Трубы проложены на одном горизонте.

Определить расход воды в системе ( $Q$ ), а также распределение расхода в параллельных участках ( $Q_2$  и  $Q_3$ ). Рассчитать показания манометров  $p_{\text{ман1}}$  и  $p_{\text{ман2}}$ . Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях составляют 10 % от потерь напора по длине.

Построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

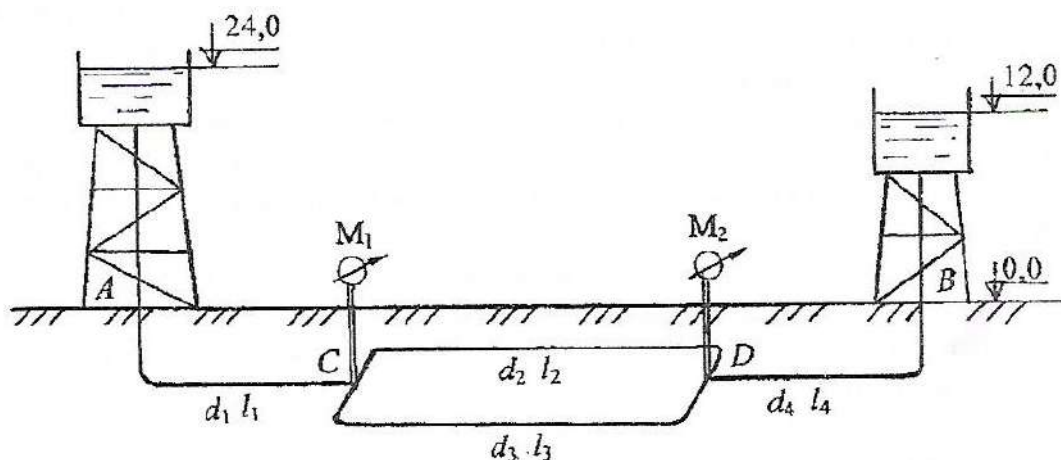


Рис 5.24



### Задача 5.25.

Двум потребителям  $A$  и  $B$  с расходами  $Q_A = 12,0$  л/с и  $Q_B = 14,0$  л/с вода подаётся от насосной установки по системе с параллельным соединением труб (см. рис. 5.25).

Длины и диаметры участков трубопроводов:  $d_1 = 100$  мм,  $l_1 = 500$  м;  $d_2 = 125$  мм,  $l_2 = 550$  м;  $d_3 = 125$  мм,  $l_3 = 700$  м.

Определить пропускную способность первого ( $Q_1$ ) и второго ( $Q_2$ ) параллельных участков труб, а также высоту подъёма воды у потребителя  $B$  ( $H_B$ ), если показание манометра, установленного после насоса,  $p_{\text{ман}} = 3,5$  ат.

Трубы водопроводные нормальные. Потери напора в местных сопротивлениях принять равными 5 % от потерь напора по длине.

В вертикальной плоскости чертежа построить пьезометрическую линию и эпюру потерь напора.

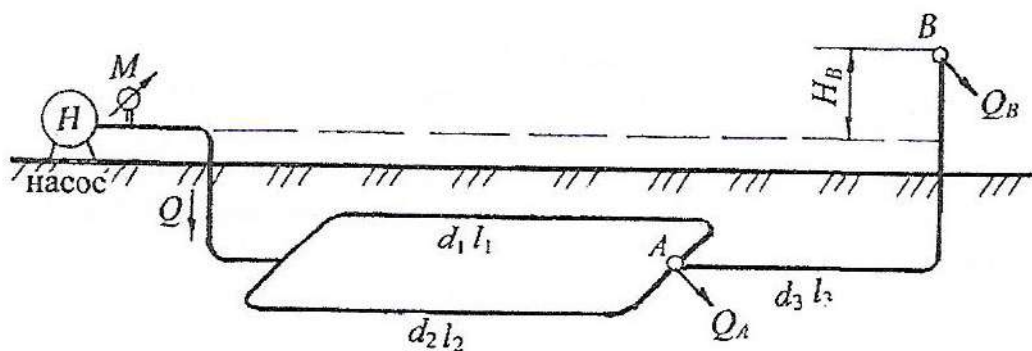


Рис. 5.25.